

(11) **EP 1 164 358 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
19.12.2001 Patentblatt 2001/51

(51) Int Cl.7: **G01D 5/20**

(21) Anmeldenummer: 00890192.8

(22) Anmeldetag: 16.06.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(72) Erfinder: **Vasloiu, Victor, Dipl.-Ing.**  
**5280 Braunau (AT)**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte BARGER, PISO & PARTNER**  
**Mahlerstrasse 9 Postfach 96**  
**1015 Wien (AT)**

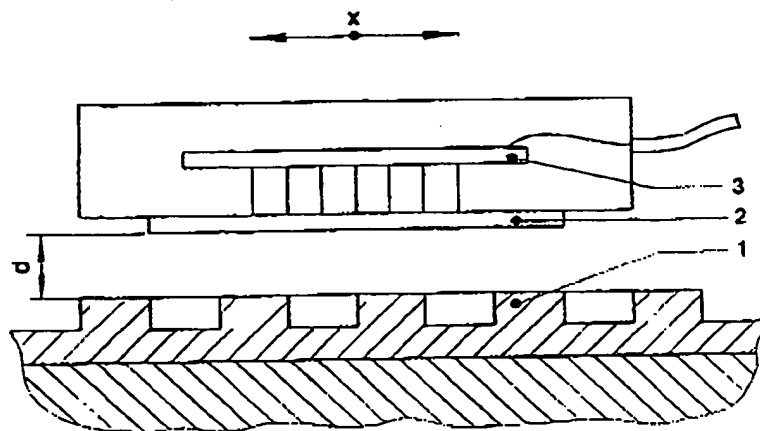
(71) Anmelder: **AMO Automatisierung Messtechnik  
Optik GmbH**  
**5280 Braunau am Inn (AT)**

(54) **Induktives Längenmesssystem**

(57) Die Erfindung betrifft ein Induktives Längenmesssystem, das durch die Abtastung von einem Maßstab mit einer Teilung von periodisch variabler Reluktanz und einem Spulensystem in einer linearen Anordnung Informationen betreffend die Position bzw. die Bewegung des Spulensystems bezüglich des Maßstabs erfassen kann.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenstruktur in Multilayer - Ausführung als Kombination von Spulen mit Konturen in Form quasigeschlosse-

ner Windungen besteht, mit mehreren Empfängerpaaren, wobei jedes Paar zwei differenziell geschaltete Empfängerelemente aufweist die für die Signalerzeugung für jeden der zumindest zwei Messkanäle zusammengeschaltet werden können, daß zumindest ein Emittersystem vorgesehen ist, das mit den Empfängerelementen in Abhängigkeit der relativen Lage in Messrichtung zur Maßverkörperung induktiv gekoppelt ist und so zumindest ein Ausgangssignal erzeugt, das in Offset und/oder Sinusform und/oder Amplitude kompensiert ist.



**FIG. 1**

**EP 1 164 358 A1**

## EP 1 164 358 A1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein induktives Längenmesssystem, das durch die Abtastung von einem Maßstab mit einer Teilung von periodisch variabler Reluktanz und einem Spulensystem in einer linearen Anordnung Informationen betreffend die Position bzw. die Bewegung des Spulensystems bezüglich des Maßstabs erfassen kann.

[0002] Ein derartiges Längenmesssystem ist aus der DE 19803249A1 bekannt.

[0003] Eine allgemeine Gegenüberstellung bekannter Messsysteme gibt folgendes Ergebnis:

[0004] Hauptmerkmale optoelektronischer Messsysteme:

hohe Genauigkeit für feine Teilungsperioden, extrem schmutzempfindlich, geringe Schock- Schwingungsbelastung

[0005] Hauptmerkmale magnetischer Messsysteme:

Mittlere Genauigkeit durch Teilungsgenauigkeit und Interpolationsfehler innerhalb der Teilungsperiode (Oberwellenanteil und Signalabweichungen von einer Periode zu der anderen.); polarisierter Maßstab zieht magnetische Partikel an und kann durch äußere magnetische Störfelder gelöscht oder beschädigt werden.

[0006] Hauptmerkmale induktiver Messsysteme:

Viele Bauarten sind bekannt, allgemein eine sehr robuste Bauart, äußerst geringe Beeinflussung durch Temperatur, basierend auf dem Transformatorprinzip, wobei die Übertragung zwischen Primär- und Sekundärspulen durch ein sich relativ zu den Spulen bewegendes Glied beeinflusst wird.

[0007] Einige konstruktive Beispiele für induktive Messsysteme:

Der Wandler vom Typ INDUCTOSYN (registrierte Marke) besteht aus zwei Elementen, Maßstab und Schlitten, beide weisen in der Messfläche aktive primär- und sekundär- meanderförmige Planarwicklungen auf. Das Gerät hat eine hohe Genauigkeit, braucht aber durch sein Abtastprinzip eine große Kopplungsfläche zwischen den zwei Elementen. Es funktioniert in niedrigen Trägerfrequenzbereichen was die Verfahrensgeschwindigkeit begrenzt und ist sehr aufwendig in der Konstruktion.

[0008] Induktive Taster sind zylinderförmige differentiale Transformatoren, bestehend aus einer Primärspule, gekoppelt mit zwei entgegen-geschalteten, konzentrisch gewickelten Sekundärspulen und einem Kern mit einer Marke unterschiedlicher Reluktanz. Das Gerät wandelt für einen definierten Messbereich, die relative Lage der Plunger-Kernspulen in ein annähernd lineares Ausgangssignal. Für kleine Messhübe können hohe Genauigkeiten erreicht werden, das Gerät ist aber nicht geeignet für größere Messhübe und dynamische Anwendungen.

[0009] In der EP 0557608 B 1 wird eine Spiralspulenstruktur beschrieben, welche in Mehrlagen-Metall-Isolierschicht auf einen weich- oder hartmagnetischen Träger in Dickschichttechnik aufgebaut ist. Ein Messgerät funktioniert auf dem Prinzip nur in Frequenzbereiche die nicht das Spulensubstrat in nichtlinearen magnetischen Bereichen bringt und durch die Phasenverschiebungserfassung in den nachgeschalteten Schwingkreis nicht für hohe Genauigkeiten geeignet.

[0010] Von selben Anmelder wird in der DE 19813497A1 das angewandte Messprinzip für eine Art "Induktives Potentialmeter" beschrieben. In dem Fall wird die relativ grobe erreichbare Genauigkeit stark beeinflusst durch Kernkopplungen gegenüber Spulenebene.

[0011] In der EP 0805339A1 wird eine Messeinrichtung beschrieben, welche auf einem ähnlichen Funktionsprinzip, wie im vorherigen Beispiel dargestellt, funktioniert. Das Gerät verwendet eine planare mehrlagige Transformatorspulenordnung für die Abtastung von einem verzahnten Messrad. Diese Anordnung besteht aus einer Primärspule in einer Ebene und zwei gegeneinander in Messrichtung versetzte Sekundärspulen. Die einzelnen Sekundärspulen bilden entweder zwei Messkanäle die durch den örtlichen Phasenversatz der Amplituden modulierte Signale die Richtungserkennung ermöglichen oder einen Messkanal wobei die Spulen differential geschaltet sind. In der ersten konstruktiven Ausführung (die ein nicht differentiale Anordnung zeigt), sind die erzeugten Signale, mit einem schwachen Modulationsgrad, von parasitären Einflüssen wie Temperatur, geometrischem Kippen der Spulen gegenüber dem Messrad usw. stark beeinflusst, in der zweiten Ausführung ist die Bewegungsrichtungserkennung nur für hohe Geschwindigkeiten möglich (für langsame Punkt zu Punkt Positionierung tendiert die durch Geschwindigkeit induzierte Phasenverschiebung Richtung Null). Diese Druckschrift befasst sich nicht mit eventuellen Induktionswechselwirkungen von mehreren Spulen in ein und derselben Struktur. Das beschriebene Gerät, wie auch in den Beispielen der einfach digitalisierenden Auswertelektronik gezeigt, eignet sich nur für grobe Bewegungserfassung.

[0012] In der DE 19803249A1 (Fa. Mitutoyo) werden induktive, absolut arbeitende Positionswandler beschrieben. Dieses Gerät ist hauptsächlich für Schiebelehren konzipiert. Für die absolute Wegerfassung werden mehrere parallel zueinander angeordnete Messspuren abgetastet. Die Messeinrichtung besteht aus einem metallstrukturierten Maßstab, eingebettet in dem Körper einer Schiebelehre und einer prinzipiell differentiell arbeitenden Spulenordnung. In dem dazu genau geführten Schlitten untergebracht. Nur in Betrachtung der Inkrementalspur (feinste Meßspur) wird eine periodische Metallteilung von einem Spulenuntersystem abgetastet. Dieses planare System besteht hauptsächlich aus einer Erregerspule und zwei Empfängerspulenkanälen die mit der Ersten induktiv gekoppelt sind und über die Messteilung bei einer relativen Bewegung die Position erfassen kann. Die zwei Empfängerspulenkanäle sind für die Bewegungsrichtungserkennung zueinander phasenverschoben angeordnet (geometrisch zueinander versetzt).

## EP 1 164 358 A1

[0013] Die Erregerspulenwindungen umgeben in der Strukturebene die Empfängerspulen die für jeden Kanal aus mehreren differentiell angeschlossenen Einzelwindungen bestehen. Das durch die Erregerspule erzeugte Magnetfeld hat keine gleichmäßige Verteilung über den ganzen inneren Spulenbereich, sondern ist wesentlich stärker in der Nähe seiner Windungen und nimmt in Richtung Spulenmitte ab. Durch diesen Effekt ist es geometrisch unmöglich zwei differentiell, versetzte Spulen unter gleicher Feldform und Feldstärke innerhalb eines Emitterrahmens zu platzieren. Das bedeutet, daß für mindestens eine der zwei Messkanten die (vereinfacht dargestellt) als zwei gegeneinander geschaltete differentiell Empfängerspulen geschaltet sind, nicht symmetrisch zu dem Emitterrahmen angeordnet sind und durch unterschiedliche Magnetfeldstärken durchflossen sind. Dadurch ergibt sich im Falle einer relativen Bewegung in Meserrichtung zum Maßstab, nach Differenzbildung der induzierten Spannungen, daß das modulierte Nutzsignal nicht um "Null" schwingt, sondern um einen Wert schwankt, der proportional zu der statischen Feldstärkedifferenz in den zwei Empfängerflächen ist. Dieser Wert, als Signalloffset bezeichnet, kann fast unmöglich in einer folgenden Auswerteelektronik komplett abgeglichen werden, da seine Amplitude zum Teil von Bewegungsssekundäreffekte wie Abstand Spulen-Maßstab oder relative Kippungen beeinflusst wird und dadurch nicht konstant für einen ganzen Meßvorgang ist.

[0014] Der Verfasser dieser Patentschrift erkennt das Problem (Seite 10, Absatz 25), der konstruktive Vorschlag ist aber nicht wirksam, da die Platzierung der unsymmetrischen Empfängerwicklungspare weiter weg von den Emitterspulen in die Mitte der Emitterspulen, zwar diese in einem Bereich bringt wo das Erregerfeld und seine Gradienten schwächer sind aber damit verringert sich auch das induzierte Nutzsignal, so daß das Verhältnis Nutzsignal zum Signalloffset weiterhin ungünstig bleibt.

[0015] Es ist die Aufgabe der Erfindung, die Vorteile der optoelektronischen Längenmessenrichtungen mit hohen Genauigkeiten und hohen erreichbaren Auflösungen im Bereich  $\leq 1 \mu\text{m}$  mit den Vorteilen der induktiven Einrichtungen, mit hoher Robustheit und Stabilität gegen Umwelteinflüsse, zu vereinen.

[0016] Die weiters beschriebene Messanrichtung eignet sich besonders durch die hohe Genauigkeit in  $\mu\text{m}$  Bereich und die hohe erreichbare Systemdynamik für Prozesssteuerungen in denen Maschinenelemente genau positioniert werden müssen.

[0017] Zu den vorherigen Vorteilen ist besonders der hohe Miniaturisierungsgrad und die günstigen Kosten der Herstellungstechnologie für Abtastensortik und die Maßverkörperung zu erwähnen.

[0018] Gemäß der Erfindung besteht das Gerät grundsätzlich aus drei Elementen (Fig. 1) und zwar Maßverkörperung (1), eine inaktive Skala mit periodischer Teilung in Längsrichtung, kompensierte Spulenstruktur (2) die induktive zusammengekoppelte Emitters und Empfängerspulen beinhaltet und eine zu dieser Struktur angeschlossene Auswerteelektronik (3) die einerseits die Emitterspulen versorgt und andererseits die von der Struktur erzeugte Meßsignale auswertet.

[0019] Die Maßverkörperung ist fest verbunden mit einem ersten Maschinenteil und die Spulenstruktur zusammen mit der Auswerteelektronik (Abtasteinheit genannt) mit einem zweiten.

[0020] Bei der relativen Bewegung zwischen den zwei Maschinenteilen in Längsrichtung (X) wird das Emittelfeld in der Empfängerebene durch die abwechselnd unterschiedliche Bereiche der Meßteilung in der Maßverkörperung moduliert und von den Empfängerspulen erfasst und als Meßinformation an der Auswerteelektronik weitergeleitet.

[0021] Das Meßsystem kann grundsätzlich auf zwei Funktionsprinzipien beruhend betrieben werden, die sich durch geometrische Verhältnisse, konstruktive Einzelheiten und Erregerfrequenz unterscheiden. Das erste Funktionsprinzip basiert auf der Abtastung einer Skala mit periodisch abwechselnden Bereichen von unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit (Fig. 2a und 2b). Durch die Dimensionierung des Systems, die von den Emitterspulen in den leitfähigeren Bereichen des Maßstabes induzierten Wirbelströme und dadurch eigenerzeugten elektromagnetischen Felder wirken gegen das Emittelfeld, sodaß in der Empfängerspulenebene in diesen Bereichen eine Abschwächung des gesamten Feldes entsteht. Diese periodische, lagenabhängige Feldstruktur wird von den Empfängerspulen erfasst und von der Folgeelektronik weiterverarbeitet.

[0022] Das zweite Funktionsprinzip basiert auf der Abtastung einer Skala aus weichmagnetischem Stoff wobei durch eine periodische Strukturierung der Maßverkörperung Bereiche von unterschiedlicher Reluktanz entstehen (Fig. 2c). Die Bereiche mit geringen Reluktanzen (Materialstege, Zähne) wirken für das von den Emitterspulen erzeugte Feld als Konzentratoren und bei einer relativen Bewegung der Maßverkörperung zu der Abtasteinheit in Längsrichtung wird dieses periodische Feldprofil von den Empfängerspulen erfasst.

[0023] Je nach Funktionsprinzip und Herstellungsmöglichkeiten kann die Maßverkörperung (Fig. 1.1 und Fig. 2) durch eine der folgenden Methoden realisiert werden:

[0024] Dünn- oder Dickschichttechnik: Strukturierung der Teilung in einer Metallschicht auf ein Isoliersubstrat (Fig. 2a und 2b); Strukturierung einer Metallfolie durch Ätzen oder Stanzen (Fig. 2c); Zusammenbauen einer strukturierten Folie (Fig. 2c) auf ein Metallträgerband (Fig. 2d); Montage einer strukturierten Folie auf ein massiven Träger oder Maschinenteil Herstellung einer Teilung direkt in einem massiven Träger oder Metallfolie durch Ätzen oder mechanische Bearbeitung.

[0025] Die Sensorstruktur (Fig. 1.2 und Fig. 3) bestehend aus einer mehrlagigen (Metall-Isolierschicht-Kombination

## EP 1 164 358 A1

mit durchkontaktierten Anschlüssen) Spiralspulenordnung die auf ein Substrat (34) aufgebracht wird, wird hauptsächlich die Emitterspule (31) mit einer Wechselspannung versorgt.

$$V_R = U_0 \sin \omega t \quad (1.1)$$

[0026] Diese Erregerspannung muß nicht unbedingt sinusförmig sein, sondern je nach den konstruktiven Daten kann Rechteck, Dreieck oder dergleichen ausgeführt werden, was nicht die weiteren Betrachtungen beeinflusst.

[0027] Das Empfängerspulensystem, vereinfacht in Fig. 3 dargestellt, weist zwei geometrisch phasenverschobene ( $\varphi$ ) Empfängerspulenpaare auf (32 und 33), wobei jedes der zwei Empfängerspulenpaare aus zwei differentiell geschalteten gegenphasigen ( $\lambda/2$ ) Spulenelementen mit gleichen Form und Windungszahlen (331, 332 und 321, 322) besteht.

[0028] Abhängig von der relativen Lage in Messrichtung X zwischen Sensorstruktur und Maßverkörperung werden in den Empfängerspulen folgende Idealspannungen induziert. (siehe Diagramm Fig. 5)

$$V_{331} = K_{10} U_0 \sin \omega t + K_{11} U_0 \sin (2\pi x/\lambda) \sin \omega t \quad (1.2)$$

$$V_{332} = K_{20} U_0 \sin \omega t + K_{21} U_0 \sin (2\pi x/\lambda + \pi) \sin \omega t \quad (1.3)$$

und

$$V_{321} = K_{10} U_0 \sin \omega t + K_{11} U_0 \sin (2\pi x/\lambda + \varphi) \sin \omega t \quad (1.4)$$

$$V_{322} = K_{20} U_0 \sin \omega t + K_{21} U_0 \sin (2\pi x/\lambda + \varphi + \pi) \sin \omega t \quad (1.5)$$

wobei:  $\lambda$  = Teilungsperiode, äquivalent zu elektrischen Winkel  $2\pi$

$K_{10}, K_{11}, K_{20}, K_{21} \rightarrow$  transformatorähnliche Übertragungsfaktoren

$\varphi$  Phasenversatz örtlich ist.

[0029] In der vereinfachten Annahme:

$K_{10} = K_{20}$  und  $K_{11} = K_{21}$ , wird die Spannung in den beiden Empfängerspulenpaaren:

$$V_{0S} = V_{331} - V_{332} = 2 K_{11} U_0 \sin (2\pi x/\lambda) \sin \omega t \quad (1.6)$$

und

$$V_{0C} = V_{321} - V_{322} = 2 K_{11} U_0 \sin (2\pi x/\lambda + \varphi) \sin \omega t \quad (1.7)$$

[0030] Da meistens  $\varphi = 2K\pi + \pi/2$  (entsprechend  $n\lambda + \lambda/4$  geometrischer Versatz) und mit der Konvention

$$2\pi x/\lambda = \alpha$$

$$2 K_{11} U_0 = K$$

werden die zwei idealen Ausgangsspannungen in folgender Form dargestellt:

$$V_{0S} = K \sin \alpha \sin \omega t \quad (1.8)$$

## EP 1 164 358 A1

$$V_0 C = K \cos \alpha \sin \omega t \quad (1.9)$$

(wie im Diagram Fig. 6a)

5 **[0031]** Aus diesen zwei Signalen kann durch die Auswertelektronik (Fig. 1.3) nach Konditionieren, Demodulieren (Fig. 6b) und eventuell Rechteckumwandeln im ratiometrischen Verfahren mit verfeinerter Auflösung (Interpolation) die genaue Lageinformation ausgegeben werden. Aus diesem Grund entsteht die Notwendigkeit, daß die Sensorstruktur zwei, durch in der Meßrichtung mit Versatz platzierten zwei Empfängergruppen, phasenverschobene Signale erzeugen muß.

10 **[0032]** Eine solche Spulenstruktur, in Verbindung mit der Maßverkörperung, kann auch in veränderter umgekehrter Weise betrieben werden indem die "Empfängerspulen" gespeist werden und das in den "Emitterspulen" induzierte Signal ausgewertet wird. In dieser Betriebsart können wiederum zwei Varianten erwähnt werden. In einer ersten Variante werden die "Sinus- und Cosinus- Empfänger" mit einem in Phase und Amplitude gleichen Signal versorgt und im "Emitterspulensystem" wird ein lageabhängiges in Amplitude modulierte Signal induziert, oder in der zweiten Variante werden die "Sinus- und Cosinus- Empfänger" mit zwei in Amplituden gleichen und in Phase um 90° verschobenen Signalen versorgt und im "Emitterspulensystem" ein lageabhängiges in Phase modulierte Signal erzeugt.

15 **[0033]** Alle weitere Bestimmungen gelten für alle Betriebsarten und Funktionsprinzipien und sind nur in Dimensionierung des Gerätes abhängig von den verschiedenen Ausführungen. In diesem Sinne wird weiter nur die zuerst beschriebene Ausführung als Beispiel verfolgt.

20 **[0034]** Prinzipiell sind die Auswertverfahren im Ermessen eines Fachmannes und können von diesem in Kenntnis der Erfindung leicht adaptiert und an die jeweils vorliegenden Verhältnisse angepaßt werden. Aus dem Grund werden sie hier nicht eingehend erläutert, sondern es werden nur zusätzliche Sonderfunktionen einer Auswertelektronik behandelt.

25 **[0035]** Die Hauptaufgabe der Erfindung ist die Bestimmung von Sensorstrukturen die mit extrem geringeren Abweichungen zu dem idealen Signalen (Gleichungen 1.8 und 1.9) Messinformationen liefern und weitgehend unabhängig von Umwelteinflüssen und Abstandsschwankungen (d) in technisch akzeptablen Toleranzen sind.

**[0036]** Es werden im folgenden einige mögliche Spulenanordnungen innerhalb der Sensorstrukturen analysiert, woraus ersichtlich wird, daß nur eine durch bestimmte Maßnahmen eigenkompensierte Struktur in der Lage ist, hohe Meßgenauigkeiten zu erreichen. Diese Kompensationsvarianten werden anschließend erläutert.

30 **[0037]** Zur vereinfachten Darstellung werden folgende Benennungen verwendet:

E, EI - Emitterspule

B, BI - Induktion

S+ - Sinusspulenelement 0° elektrisch

35 S- - Sinusspulenelement 180° elektrisch (entspricht  $\lambda/2$  geometrischer Versatz)

C+ - Cosinusspulenelement 0° elektrisch

C- - Cosinusspulenelement 180° elektrisch

40 **[0038]** Allgemein wird für die weitere Betrachtung angenommen, daß ein Spulensystem als mehrlagiger ebener Aufbau aus einer Emitterspule (Einzelemittersystem) oder mehreren (Multiemittersystem) und zwei Empfängerkkanälen besteht, wobei letztere mit ersteren induktiv gekoppelt sind, um  $\pi/2$  ( $\lambda/4$  geometrisch) verschobene elektrische Signale zu liefern.

45 **[0039]** Ein Empfängerkanal besteht aus mindestens einer Gruppe von zwei Spulenelementen, die um  $\pi$  elektrisch ( $\lambda/2$  geometrisch) verschoben und differenziell zusammengeschaltet sind, allerdings für eine gleichzeitige Abtastung von mehreren Maßstabsperioden, so daß zur Unterdrückung der einzelnen Teilungsabweichungen durch eine Mittelwertbildung und für einen höheren Signalgewinn in der Regel aus mehreren um eine ganzzahlige Periode " $n\lambda$ " platzierte und in Serie geschalteten Gruppen gebildet wird. Weiter wird es oft für die vereinfachte Beschreibung ein Empfängerkanal nur mit einer einzigen Spulengruppe dargestellt.

50 **[0040]** In Fig. 4 wird ohne Einzelemitter-Grundstruktur erläutert, wobei die Gesamtentwicklungen einer Spule als Einzelleiterbahn gezeichnet wurden. Für die Versorgung der Emitterspule mit einer Primär Wechselspannung (Gleichung 1.1) entsteht ein elektromagnetisches Feld dessen Intensitätsverlauf in der Empfängerebene (S+, S-, C+, C-) im Diagramm dargestellt wird. Es ist offensichtlich, daß durch den Feldgradient keine konstante Intensität realisierbar ist und das Feld stärker in der Nähe des Emitter-Leiterbahnbereiches ist und in Richtung Emitterspulenmitte deutlich abnimmt.

55 **[0041]** In der Annahme, daß die Empfänger der Sinus- bzw. Cosinusgruppe wie in Fig. 4 positioniert sind und alle Empfängerspulenelemente die gleiche Windungszahl aufweisen, ergibt sich durch ihren geometrischen Versatz im Emitterfeld in jeder Einzelspulenelementachse die Induktion:

## EP 1 164 358 A1

$$B_{s+} \neq B_{s-}, B_{c+} \neq B_{c-}$$

die zu unterschiedlichen "Sekundärspannungen" führt. Bei einer relativen Bewegung in Meßrichtung der Spulenstruktur zu der Maßverkörperung werden diese Signale moduliert. Die Differenzbildung der induzierten Spannungen in den Spulenelementen  $S_+$ ,  $S_-$  und  $C_+$ ,  $C_-$  soll den unmodulierten Signalanteil (Gleichung 1.2 und 1.3) wie in den Gleichungen 1.6 und 1.7 komplett abheben.

[0042] Solange aber funktionsbedingt die Spulen zueinander in der Empfängerebene versetzt werden müssen, liefert eine derartige Spulenanordnung offsetbehaftete Signale wie in Fig. 7 dargestellt, da  $K_{10} \neq K_{20}$ . In diesem Bild wird der Offset des Sinuskanals mit  $\Delta O_s$  und der des Cosinuskanals mit  $\Delta O_c$  bezeichnet, und stellt eine Abweichung zu den idealen Signalen dar. Da durch Abstandsänderungen (Maß "d" in Fig. 3) zwischen Abtasteinheit und Maßverkörperung mit denen im Betrieb eines solchen Systems, innerhalb gewisser Toleranzen, zu rechnen ist, auch die Primärfeldverteilung beeinflusst wird, bleibt die Induktionsdifferenz ( $B_{s+} - B_{s-}$ ) und ( $B_{c+} - B_{c-}$ ) nicht konstant. Damit werden die Werte  $\Delta O_s$  und  $\Delta O_c$  variabel sein.

[0043] Diese abstandsbedingten Offsetänderungen führen zu der Unmöglichkeit, diese in der Auswerteelektronik abgleichen zu können, wodurch es zu verhältnismäßigen Meßsystemungenauigkeiten kommt.

[0044] In Fig. 8 wird auch eine Einzelemittergrundstruktur dargestellt, wobei die Wicklungen der Emitterspule die ganze Sensorabtaßfläche decken (Fig. 8a) und die Empfänger sich parallel zu dieser Ebene befinden. Auch in dieser Ausführung ist die Feldverteilung nicht gleichmäßig in der Empfängerebene (Diagramm Fig. 8c). Eine mögliche symmetrische Platzierung der z.B. s. Sinuselemente  $S_+$ ,  $S_-$  zu der Emittergeometrie (Maß "m" Fig. 8b) führt zu gleichen Induktionen in deren Ebenen  $B_{s+} = B_{s-}$  und zu einem Offset  $\Delta O_s = 0$ .

[0045] Damit wird das Problem aber nicht gelöst, da die Cosinusspulen funktionsbedingt zu den Sinusspulen versetzt positioniert werden müssen und dadurch nicht mehr symmetrisch zum Emittor  $B_{c+} \neq B_{c-}$  sind, was zu einem Offset  $\Delta O_c \neq 0$  führt.

[0046] In einem weiteren Beispiel kommt eine Multiemitterstruktur in Betracht wie in Fig. 9 symbolisch dargestellt. In dieser Ausführung ist jeder Empfängerkanal von eigenen Emitterspulen angeregt. Das ganze Prinzip gilt genauso wenn ein Empfängerkanal aus mehreren Spulengruppen bestehen würde und jede Gruppe mit ihren zwei differenzellen Spulenelementen von eigenen Emittor angeregt würde oder noch erweitert jedes Einzelelement mit seinem eigenen Emittor gekoppelt würde.

[0047] In dieser Anordnung, wenn nur einer der zwei Emittor E1 oder E2 gespeist werden, würde der entsprechende Empfängerkanal durch die Symmetrie und gleiche Windungszahl ein offsetfreies Signal erzeugen. Wenn aber funktionsbedingt beide Emittor aktiv sind durch die Wechselwirkungen in beiden möglichen Induktionsrichtungen (gleiche Richtung Fig. 9c, Gegenrichtung Fig. 9d) entstehen unterschiedliche Induktionen in den Elementarspulenebenen  $B_{s+} \neq B_{s-}$  und  $B_{c+} \neq B_{c-}$  und dadurch offsetbehaftete Signale. Es ist auch ersichtlich, daß jede andere Kombination auch für gemischte Spulenelemente von zwei Kanälen auf ein Emittor zu keiner Lösung führen.

[0048] Ein erweiterte Multiemitterstruktur in einer vier-Emittorausführung ist in Fig. 10 dargestellt. Auch hier für gleiche Induktionsrichtungen (Fig. 10a) und für gegen Induktionsrichtungen (Fig. 10b) führen die Einflüsse der beiden Endemittor in der ganzen Sensorstruktur zu einer ungleichmäßigen Feldintensitätsverteilung. Dieses gilt auch für Multiemitterstrukturen mit einer großen Anzahl von Emittoren.

[0049] Aus allen bisherigen Ausführungsvarianten die analysiert wurden, zieht man die Schlußfolgerung, daß nur eine durch konstruktive Maßnahmen in sich kompensierte Sensorstruktur in Verbindung mit der Maßverkörperung und Auswerteelektronik zu ausgeglichenen Ausgangssignalen führen kann (Fig. 5). Um die Bedeutung einer Kompensation zu unterstreichen, soll erwähnt werden, daß das modulierte Nutzsignal eines Spulenelementes (Gleichung 1.2) im Bereich eines Faktors  $\sim 10$  bis 100 kleiner ( $K_{11} \ll K_{10}$ ) ist als das Trägersignal und daß die Differenzbildung mit dem gepaarten Element das Trägersignal sehr genau auf Nulloffset drücken muss.

[0050] Diese Kompensationsmaßnahmen betreffen die Geometrien, die Windungsanzahl und die Form und die relativen Lagen der Emittor- und Receiverspulen innerhalb der Struktur. Damit wird erreicht, daß, obwohl die einzelnen Spulenelemente mit unterschiedlichen Feldstärken angeregt werden, nach der Differenz und Summenbildung des Gesamtsignals durch zusammengeschaltete Elemente pro Messkanal ein offsetfreies Signal erzeugt wird.

[0051] Weiter werden einige Beispiele für Kompensationsmethoden erläutert. In Fig. 11 ist eine Einzelemitterstruktur mit mehreren Empfängerkanälen für die Bildung der zwei Messkanäle SINUS und COSINUS dargestellt. Durch die Zusammenschaltung der einzelnen Spulenelemente werden die zwei Meßsignale folgendermaßen gewonnen:

$$V_{os} = (S_{1+} - S_{1-}) + (S_{2+} - S_{2-}) + \dots + (S_{i+} - S_{i-}) + \dots + (S_{n+} - S_{n-})$$

## EP 1 164 358 A1

und

$$Voc = (C_{1+} - C_{1-}) + (C_{2+} - C_{2-}) + \dots$$

$$\dots + (C_{i+} - C_{i-}) + \dots + (C_{n+} - C_{n-})$$

[0052] Wie bereits erklärt, ist das Erregerfeld in der Empfängerebene nicht gleich stark. Um dieser Ungleichmäßigkeit entgegen zu wirken, können, wie in Fig. 12 dargestellt, die einzelnen Spulenelemente (In dem Fall  $Si+$  und  $Si-$ ) unterschiedliche Windungszahl aufweisen  $ni+ \neq ni-$ . Das Verhältnis  $ni+ / ni-$  ist umgekehrt proportional zu dem für diese Spulenelemente entsprechenden Induktionsverhältnis  $Bi+/Bi-$ , sodaß für diese beiden Spulen, in Abwesenheit der Maßverkörperung, die ja lagebedingt diese Ströme beeinflusst, gleiche Spannungen (im Betrag) induziert werden..

[0053] In der Spulenstruktur kann rechnerisch bis zu einem beliebigen Genauigkeitsgrad diese Methode für die Spulenelementenpaare  $S_{1+}$ ,  $S_{1-}$ , und  $C_{1+}$ ,  $C_{1-}$ , bis zu  $C_{n+}$ ,  $S_{n-}$  und  $C_{n-}$ ,  $C_{n-}$  eingesetzt werden, wobei sich durch Symmetrie  $n_{1+}/n_{1-} = n_{n+}/n_{n-}$  für das erste und letzte Paar ergibt, und sich dies analog bis zur Emittersymmetrieachse fortsetzt. Offensichtlich ist die Differenz  $\Delta I > \Delta i$  mit  $\Delta I = \ln_{1+} - n_{1-}$  und  $\Delta i = \ln_{n+} - n_{n-}$  und nimmt Richtung Strukturachse von beiden Seiten kontinuierlich ab.

[0054] Eine äquivalente Kompensationsmethode für die in Fig. 11 dargestellte Einzelemitterstruktur ist die Anpassung der Empfängerspulenfläche (Fig. 13a) umgekehrt proportional zur Erregerfeldstärke, so daß für unterschiedliche  $B_{1+} \neq B_{1-}$  durch unterschiedliche Empfängerflächen  $Ai+ \neq Ai-$  gleiche Magnetfeldflüsse für die zwei differenziellen Elemente eines Spulenpaares erreicht werden. Eine Änderung der Spulenabmessung "1" senkrecht zu Meßrichtung beeinflusst das in dieser Spule Induzierte Signal nur quantitativ und macht diese erwähnte Anpassung möglich. Eine noch feinere Flussanpassung kann auch nur durch die geometrische Änderung einer oder einiger Windungen einer Spule erreicht werden (siehe Fig. 13b).

[0055] Eine dritte Kompensationsmethode einer Einzelemitterstruktur ist in Fig. 14 dargestellt. Da handelt es sich um zusätzliche Empfängerelemente wie  $ksin$  und  $kcos$ , plaziert außerhalb (Fig. 14a) oder innerhalb (Fig. 14b) der Emittterfläche in Meßrichtung, die durch die in ihnen induzierten Signale den entsprechenden inneren Empfängerelementen entgegenwirken, sodaß die Zusammenschaltung pro Kanal zu einem ausgeglichenen, offsetfreien Signal führt. Dabei können alle bisher beschriebenen Kompensationsmethoden wie Anpassung der Windungszahl und Empfängerfläche eingesetzt werden.

[0056] Wie man in der Darstellung (14a) beobachten kann, sind die Kompensationsspulen  $ksin$  und  $kcos$  um  $180^\circ$  elektrisch versetzt, da die Induktionsrichtung ausserhalb der Emitterspule als Vektor auch entgegenwirkt.

[0057] In der Fig. 15 ist eine Multiemitterstruktur dargestellt. Durch die Verkettung der einzelnen Emittfelder entsteht, wie bereits erwähnt, eine ungleiche Gesamtfeldverteilung. Eine erste hier vorgestellte Kompensationsmethode sieht zusätzliche Kompensationsemitter  $EK1$  und  $EK2$  gekoppelt mit den Kompensationsempfänger ( $C_{K+}$ ,  $C_{K-}$  und  $S_{K+}$ ,  $S_{K-}$ ) vor. Diese können sich von den anderen analogen Emitttern und Empfängern durch ihre Fläche und (oder) Windungszahl eventuell auch Windungsrichtung unterscheiden. Diese Unterschiede führen dazu, daß in der Gesamtstruktur, mit zusammengeschalteten Elementen, durch die Entgegenwirkung dieser Kompensationssignale ihre Abweichungen unterdrückt werden.

[0058] In zwei in vereinfachter Form weiter dargestellten Varianten dieser Anordnung werden als Kompensationselemente entweder nur zusätzliche Emittter (Fig. 16) oder zusätzliche Empfänger (Fig. 17) verwendet. In einer ähnlichen Weise wie oben beschrieben werden die ohne diese Kompensationselemente vorhandenen Signalooffsetwerte kompensiert.

[0059] In den Fig. 18 (axonometrische Darstellung) und Fig. 19 (Strukturquerschnitt und Induktionsbetrachtungen) wird eine andere Kompensationsmethode dargestellt, die für beide Einzelemitterstrukturen und Multiemitterstrukturen eingesetzt werden kann. In dieser Ausführung hat die Struktur in einer zu den anderen Spulenelementen parallel zu deren Ebenen angeordnete Kompensationsspulen  $KS$  und  $KC$ . Durch die entsprechende Versorgung, Geometrie und Lage dieser Kompensationsspulen können zusätzliche Induktionen ( $\vec{B}_{ks+}$ ,  $\vec{B}_{ks-}$  und  $\vec{B}_{kc+}$ ,  $\vec{B}_{kc-}$ ) in der Empfängerebene erzeugt werden, die entgegen der Abweichungen der Standardemitter  $\Delta s = (\vec{B}_{s+} - \vec{B}_{s-})$  und  $\Delta c = (\vec{B}_{c+} - \vec{B}_{c-})$  wirken und nach der Überlagerung deren Effekte zu einem gleichmäßigen totalen Erregerfeld führt:  $(\vec{B}_{\tau s+}) = (\vec{B}_{\tau s-})$  und  $(\vec{B}_{\tau c+}) = (\vec{B}_{\tau c-})$ . Dabei gilt:  $(\vec{B}_{s+}) + (\vec{B}_{ks+}) = (\vec{B}_{s-}) + (\vec{B}_{ks-}) = (\vec{B}_{\tau s+}) = (\vec{B}_{\tau s-})$  und  $(\vec{B}_{c+}) + (\vec{B}_{kc+}) = (\vec{B}_{c-}) + (\vec{B}_{kc-}) = (\vec{B}_{\tau c+}) = (\vec{B}_{\tau c-})$

(siehe Vektordiagramm 19a und 19b)

[0060] In Fig. 19a wird die Ausführung zweier Emittter gleicher Induktionsrichtung und in Fig. 19b zweier Emittter mit gegeneinander gerichteter Induktionsrichtung dargestellt. In beiden Fällen werden zuerst die Standard-Emittterinduktionen  $B$  mit ihren Lageabweichungen, dann die Kompensationsinduktionen  $B_k$  und die gesamt kompensierte Induktion

## EP 1 164 358 A1

B<sub>T</sub> dargestellt.

[0061] Für all diese bisher beschriebene Strukturen wurden Lösungen für die Signaloffsetunterdrückung vorgestellt.

[0062] Die erzeugten Signale müssen aber für ein hochauflösendes Messsystem auch eine gute "Sinusförmigkeit" aufweisen, das bedeutet daß die lageabhängigen Oberwellen (auch Klirrfaktor genannt) auf ein Minimum reduziert werden müssen. Man kann theoretisch berechnen, daß für die bisherigen Idealstrukturen die induzierten Signale je nach Betriebsart und Geometrien, überlagert auf die örtliche Hauptsinusschwingung in unterschiedlichen Anteilen mit geraden und ungeraden Oberwellen behaftet sind.

[0063] Diese Oberwellen könnten, falls sie im konstanten Verhältnis zur Hauptwelle stehen, durch aufwendige elektronische Auswertung unterdrückt werden (wie z.B. eine punktuelle "Look-up table" Korrektur). Da aber dieses Verhältnis vom Abstand "d" (Fig.3) abhängig ist, lassen sie sich kaum für den gesamten Funktionsbereich eliminieren, was jedoch für hohe Genauigkeiten notwendig ist. Daraus ersieht man, daß auch oberwellenmäßig nur eine in sich kompensierte Struktur zu den gewünschten Anforderungen führen kann.

[0064] Es läßt sich berechnen, das die Messsystemübertragungsfunktion durch bestimmte geometrische Maßnahmen beeinflusst werden kann. Diese Maßnahmen werden weiter als Korrekturen zu einer theoretisch idealen Struktur erläutert. Für eine solche korrigierte Struktur kann gezielt jede störende Oberwellenordnung mit einer der im folgenden näher erläuterten Maßnahmen unterdrückt werden. Grundsätzlich können zur Unterdrückung mehrerer Oberwellenordnungen durch Überlagerung der Effekte mehrere Korrekturmaßnahmen für die selbe Struktur eingesetzt werden.

[0065] Eine erste vorgestellte Korrekturart betrifft die Emitterspulen geometrie. Von einem Emittter, wie er in Fig. 20a dargestellt ist, mit Idealmäß durch den Additions -oder Subtraktionswert "k" in der Emittterbreite in Messrichtung, kann, um eine bestimmte Oberwellenordnung zu unterdrücken, die induzierte Signalförmigkeit in den Empfängern S<sub>+</sub> und S<sub>-</sub> beeinflusst werden. Ebenso kann durch die Verteilung der einzelnen Wicklungen in der Emittterebene in Abweichung von der regelmäßigen Distribution (Fig 21a), so, wie in Fig. 21b und 22c dargestellt, Signaleinflüsse erzielt werden.

[0066] Eine zweite Korrekturart betrifft die Empfänger geometrie und die Empfängerlage in Messrichtung. In Fig.22a wird die Ideal - Empfänger ebene vereinfacht für einen einzelnen Messkanal (Sinus), bestehend aus mehreren Empfängergruppen mit Bemaßung dargestellt. Durch eine Korrektur "k" geänderte Spulenelementbreite (Fig.22b) oder Spulenelementen - Abstand in einer Empfänger - Differentialgruppe (Fig.22c) oder durch die Abstände der Empfängergruppen in der Empfängerreihe (Fig.22d), sowie durch die Einzelwicklungsverteilung eines Empfängerspulenelementes (Fig.21b) können verschiedene Oberwellen unterdrückt werden.

[0067] Eine dritte Korrekturart betrifft die Maßverkörperung. Das Verhältnis zwischen den Bereichen mit höherer elektrischer Leitfähigkeit oder geringerer Reluktanz (Maß "a" in Fig. 3) und den Bereichen mit niedrigerer Leitfähigkeit oder höherer Reluktanz (Maß "b" in Fig. 3) im Rahmen einer Teilungsperiode  $\lambda$ , kann auch die Signalförmigkeit beeinflussen. Für einen bestimmten Korrekturwert "k" (Fig.23b) kann eine bestimmte Oberwellenordnung durch den Maßstab eliminiert werden. Die Unterdrückung einer Oberwellenordnung kann in der Maßverkörperung durchgeführt werden, indem die Grenzbereiche w.o. beschrieben im Rahmen der Teilungsperiode einen bestimmten Winkel  $\alpha \neq 90^\circ$  zur Messrichtung aufweisen (Fig.23c).

[0068] Die Ermittlung all dieser Oberwellenkorrekturwerte für ein definiertes Messsystem mit seiner bestimmten Übertragungsfunktion nach der Festlegung der Funktionsart und der idealen Geometrie, Spulenstruktur, Maßstab und Genauigkeitsanforderungen liegt in Kenntnis der Erfindung im Ermessen eines Fachmannes.

[0069] Ein zusätzlicher Aspekt in Betrachtung des Messsystemes ist die Abhängigkeit der Signalamplituden mit dem Abstand "d" der Spulenstruktur zum Maßstab (Fig.3). Obwohl, wie bereits erwähnt, die Auswerteelektronik ein rationales Verfahren für die Ermittlung des elektrischen Winkels  $\alpha$  verwendet, sodaß die Signalamplituden der zwei Meßkanälen weitgehend nicht direkt im Ergebnis zu finden sind, sondern nur ihr Verhältnis, können für die Erweiterung des Funktionsbereiches durch eine weiter unten beschriebene Methode diese Amplituden annähernd konstant gehalten werden.

[0070] In Fig.24 ist ein Blockdiagramm dargestellt, mit dem die Messsignale V<sub>os</sub> und V<sub>oc</sub> durch Operationsverstärker in der Eingangsstufe der Auswerteelektronik mit variablen Verstärkungsfaktoren bearbeitet werden. Der Verstärkungsfaktor wird bestimmt von dem U<sub>komp</sub>-Signal nach Konditionierung und ist proportional zu dem Abstand zwischen Maßverkörperung und Spulenstruktur. Das U<sub>komp</sub> - Signal wird gewonnen von einer zusätzlichen Spule A<sub>komp</sub> (Fig. 25, Fig.26) die sich in einer Parallelebene zur Emitterspule in der Gesamtspulenstruktur befindet und durch ihre Geometrie ein abstandsabhängiges Signal liefert (Maß der magnetischen Kopplung zwischen Emittter E und A<sub>komp</sub>), das exponentiell vom Abstand "d" beeinflusst wird. Die Spule A<sub>komp</sub> ist so gestaltet, daß ihr induziertes Signal U<sub>komp</sub> nicht durch Bewegung in Messrichtung moduliert wird (z.B. eine Breite von  $\sim n\lambda$  wie in Fig.25). Da das U<sub>komp</sub> - Signal so wie V<sub>os</sub> und V<sub>oc</sub> mit größerem Abstand "d" abnehmen, jedoch der Verstärkungsfaktor größer sein muss, soll dieses Signal vor dem Anschluß an den VGA's entsprechend konditioniert werden.

[0071] Alle bisher erwähnten Kompensations - und Korrekturmethode wurden aus Gründen der Vereinfachung nur für eine Spulenebene dargestellt und einheitlich als "Spule" bezeichnet. Diese gelten aber in analog auch dann, wenn eine Spule aus mehreren übereinander positionierten und zusammengeschalteten Spulenschichten besteht.

[0072] In der konstruktiven Umsetzung für die Herstellung einer mehrlagigen Spulenstruktur können durch die Über-



## EP 1 164 358 A1

einanderplatzierung der einzelnen Spulenebenen, je nach Betriebsfrequenzen und Impedanzen zusätzlich zu den magnetischen Kopplungen unerwünschte kapazitive Kopplungen entstehen. Um diese zu vermeiden und auch die gesamte Struktur von äusseren Einflüssen abzuschirmen, können zwischen den aktiven Spulenebenen und/oder ausserhalb großflächige metallische Dünnschichtebenen (Fig. 27/S1 und S2) vorgesehen werden. Durch deren Anschluss an ein festes Potential wird die Struktur kapazitiv entkoppelt.

[0073] Als konstruktives Beispiel sei folgendes besprochen:

[0074] Anhand einer elementaren Spule, wie in Fig. 28 dargestellt, wird im folgenden eine konstruktive Ausführung als Beispiel für die komplette Spulenstruktur, wie sie in Fig. 29 dargestellt ist, beschrieben, wobei nur einige der bisher erläuterten Kompensationsmethoden eingesetzt werden. Je nach Systemdimensionierung und Anforderungen können beliebig andere von den für jeden Signalparameter angegebene Korrekturprinzipien in einem gemeinsamen gebildeten Konzept angewandt werden.

[0075] Für die weitere Betrachtung wird angenommen, dass die Spulenstruktur aus abwechselnden Metall (MET) und Isolationschichten (ISO) besteht. Die Isolationschichten weisen Durchkontaktierungen (Vias) auf, die die elektrischen Zwischenschichtanschlüsse realisieren. Diese gesamte Multilayeranordnung wird auf ein, aus technologischer Sicht bestimmtes Substrat aufgebaut und über entsprechende Kontakte mit der Versorgungseinheit und der Auswertelektronik verbunden. Eine derartige Multilayeranordnung kann durch bekannte Technologien ähnlich wie bei gedruckten Schaltungen oder in photolithographischer Dünnschichttechnik realisiert werden.

[0076] Das Spulenelement in Fig. 28 kann, wenn funktionell notwendig, in ähnlicher Weise auch in mehr als zwei Metallebenen gebildet werden. Die Maßverkörperung besteht aus einer Metallfolie, entweder aus Eisen oder Eisenlegierung, magnetisch oder weichmagnetisch oder aus Nichtisenlegierung mit angeätzter periodischer Struktur (Teilung) oder, was wegen der erreichbaren höheren Teilungsgenauigkeit bevorzugt wird, aus einer doppelseitig in Koinzidenz photolithographisch geätzten Folie, die auf einen metallischen oder nichtmetallischen Untergrund aufgebracht wird.

[0077] Die in Fig. 29 dargestellte Multi-Emitterspulenstruktur mit den angegebenen geometrischen Verhältnissen besteht im konkreten Fall (ohne die Praxis darauf zu beschränken) aus sechs Emittoren ( $E_1$  bis  $E_6$ ) überlagert auf jeweils drei "Sinus" und "Cosinus" Empfängergruppen ( $S_1, S_2, S_3$  und  $C_1, C_2, C_3$ ) mit denen diese dadurch induktiv gekoppelt sind. Mit den Emittoren  $E_1$  und  $E_6$  sind die Abstandskompensationsspulen KOMP induktiv gekoppelt.

[0078] Zwischen den Spulenebenen können zur kapazitiven Entkopplung Schirmflächen vorgesehen werden.

[0079] Die Emittoren werden, entweder alle in Serie oder parallel zusammengeschaltet und mit Wechselspannung gespeist. Es besteht auch die Möglichkeit diese nur zum Teil auf oben angeführte Weise zusammen zuschalten. In diesem Fall werden die restlichen Emittoren, in Phase mit den anderen aber getrennt versorgt. Dadurch können diese zur Erreichung einer gewünschten Gleichmäßigkeit des Erregerfeldes mit unterschiedlichen Spannungen (bzw. Strömen) gespeist werden.

[0080] Diese Emittoren (z.Bsp.  $E_1$  und  $E_6$ ) werden als Kompensationsemitter betrachtet. Die Windungsanzahl der Emittoren kann entweder identisch für alle oder aber unterschiedlich, symmetrisch zur Strukturachse in Meßrichtung, für den Ausgleich der Emittoreinzelfeld-Wechselwirkungen, realisiert werden.

[0081] Eine Empfängergruppe (z.B.  $S_1$ ) besteht aus zwei Empfängerelementen ( $S_{1+}$  und  $S_{1-}$ ), welche differentiell geschaltet sind. Jeder der beiden Meßkanäle "Sinus" und "Cosinus" wird durch die Serienschaltung der entsprechenden Gruppen gebildet.

[0082] Wenn nicht durch die Emitterbeschaffenheit kompensiert, können zusätzlich zu dieser ersten Maßnahme, für die Erreichung eines gesamten offsetreduzierten Signals, wie bereits weiter oben erläutert, die Empfängerelemente mit unterschiedlichen Windungsanzahlen oder Geometrien für den Ausgleich des Emitterfeldgradientes, gestaltet werden.

[0083] Die idealen Abstände zwischen den Empfängerspulengruppen eines Kanals (siehe Fig. 29) können durch Korrekturwerte ( $K_2, K_3$ ), ermittelt aus der berechneten Übertragungsfunktion, für die Unterdrückung bestimmter Oberwellen angepasst werden.

[0084] Das Abstandskompensationssignal, induziert in den KOMP 1 und KOMP 2 Spulen (in Serie geschaltet), hat eine Amplitude, die umgekehrt proportional zum Abstand der Spulenstruktur von der Maßverkörperung ist. Diese soll nicht oder nur geringfügig von deren relativen Bewegung in Meßrichtung beeinflusst werden (Ripples-Erscheinung). Das wird erreicht durch die Anpassung der Kompensationsspulenbreite, korrigiert von dem Idealwert (Periodenganzzahl).

[0085] Eine weitere störende Ausgangssignaloberwelle kann in der Maßverkörperung durch die Korrektur  $K_1$  unterdrückt werden.

[0086] Zur Systemvereinfachung können selbstverständlich für die Realisierung der Spulenstruktur je nach Genauigkeitsanforderungen auch wenige Metalllayer verwendet werden.

[0087] Der Vollständigkeit halber sei noch auf eine rotative Ausführungsform verwiesen:

[0088] Die gesamten Bestimmungen für das Längenmesssystem können identisch für eine Winkelmessfassung eingesetzt werden. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Maßverkörperung einen zylindrischen Teil darstellt (Nr. 1 in Fig. 30) und die Spulenstruktur bogenförmig oder als mit der Maßverkörperung konzentrische Polygonalfläche

## EP 1 164 358 A1

realisiert wird (Nr. 2 in Fig. 30).

[0089] Da derartige Messsysteme, schon im Stand der Technik mit entsprechenden Computerprogrammen entwickelt und ausgelegt werden, besteht für den Fachmann in Kenntnis der Erfindung die Möglichkeit, die jeweils benutzten Computerprogramme mit Modulen bzw. Routinen auszustatten, die die erfindungsgemäßen Korrekturen vornehmen. Dabei kann durchaus ein iterativer Weg eingeschlagen werden, bei dem beispielsweise erfindungsgemäße Korrekturen in vorbestimmten Ausmaß vorgenommen werden, die dadurch erreichte Verbesserung überprüft und die noch notwendige Korrektur (der Korrektur) vorgenommen wird, bis die erhaltenen Ergebnisse im Rahmen der angestrebten Resultate liegen. Es kann selbstverständlich in Kenntnis der Erfindung auch eine Analyse der notwendigen Korrektur vorgenommen werden, um schon im ersten Schritt zum gewünschten Resultat zu kommen.

### Patentansprüche

1. Induktive Messeinrichtung zur Positionserfassung, bestehend aus einer Spulenstruktur und einer Maßverkörperung mit mindestens einer Teilung von variabler Reluktanz oder Leitfähigkeit, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Spulenstruktur in Multilayer - Ausführung als Kombination von Spulen mit Konturen in Form quasigeschlossener Windungen besteht, mit mehreren Empfängerpaaren, wobei jedes Paar zwei differenziell geschaltete Empfänger-elemente aufweist die für die Signalerzeugung für jeden der zumindest zwei Messkanäle zusammengeschaltet werden können, **daß** zumindest ein Emitterelement vorgesehen ist, das mit den Empfänger-elementen in Abhängigkeit der relativen Lage in Messrichtung zur Maßverkörperung induktiv gekoppelt ist und so zumindest ein Ausgangssignal erzeugt, das in Offset und/oder Sinusform und/oder Amplitude kompensiert ist.
2. Messeinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Empfängerspulen entsprechend der Emitterfeldverteilung in Messrichtung, unterschiedliche Windungsanzahl aufweisen, um offsetkompensierte Ausgangssignale zu erzeugen.
3. Messeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Empfängerspulen entsprechend der Emitterfeldverteilung in Messrichtung zumindest für einen Teil ihrer Windungen unterschiedliche Längen quer zur Messrichtung aufweisen, um offsetkompensierte Ausgangssignale zu erzeugen.
4. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Empfängerspulen-systeme mit zumindest einem zusätzlichen Kompensationsempfängerelement versehen sind, das durch die Zusammenschaltung mit den Standard - Empfängerspulen zu offsetkompensierten Ausgangssignalen durch den Ausgleich der Emitterfeldungleichmäßigkeit führt.
5. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Emittter aus mehreren Spulen besteht und **daß** zumindest ein zusätzlicher Kompensationsemitter vorgesehen ist, der in Messrichtung oder in einer Parallelebene zu den Emitttern angeordnet ist und zu einer kompensierten, gleichmäßigen Erregerfeldverteilung in der Empfängerebene führt.
6. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Emittter aus mehreren Spulen besteht, die, in Messrichtung angeordnet, mit unterschiedlichen Windungszahlen, Windungsverteilungen, Windungsformen, Breite, Länge oder Versorgungsströmen versorgt, ausgebildet sind, **sodaß** in der Empfängerebene durch die Effektüberlagerung der einzelnen Felder in Messrichtung ein gleichmäßiges Gesamterregerfeld erzeugt wird.
7. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Emittter aus mehreren Spulen besteht und **daß** zumindest ein zusätzlicher Kompensationsemitter vorgesehen ist, der in Messrichtung in einer Parallelebene zu den Emitttern angeordnet ist und unabhängig von den Emitttern versorgt werden kann, um eine gleichmäßige Gesamterregerfeldverteilung in den Empfängerebenen zu erreichen und/oder offsetfreie Signale in den Empfängerspulen zu erzeugen.
8. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Unterdrückung der Oberwellen des Ausgangssignals die Emittterbreite  $n\lambda \pm k$  beträgt, wobei gilt:  $n$  ist eine natürliche Zahl,  $\lambda$  ist die Teilungsperiode und  $k$  ist ein Korrekturwert.
9. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Unterdrückung der Oberwellen im Ausgangssignal in der Emittterebene die Wicklungsaufteilung der Emittter nicht periodisch

## EP 1 164 358 A1

gleichmäßig ist.

- 5 10. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Unterdrückung der Oberwellen im Ausgangssignal die Empfängerelemente eine Breite von  $\lambda/2 \pm k$  aufweisen, wobei gilt:  $\lambda$  ist die Teilungsperiode und  $k$  ein Korrekturwert.
- 10 11. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Unterdrückung der Oberwellen des Ausgangssignals die Empfängerelemente im Rahmen eines Empfängerdifferentialpaares in Messrichtung einen Abstand zueinander von  $\lambda/2 \pm k$  aufweisen, wobei gilt:  $\lambda$  ist die Teilungsperiode und  $k$  ein Korrekturwert.
- 15 12. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Unterdrückung der Oberwellen des Ausgangssignals die Empfängerdifferentialpaare im Rahmen eines Messkanals in Messrichtung einen Abstand zueinander von  $n\lambda \pm k$ ; ( $i \in \{0, n\}$ ) aufweisen, wobei gilt:  $n$  ist eine natürliche Zahl,  $\lambda$  ist die Teilungsperiode,  $k$  ist ein Korrekturwert und  $i$  ist Null oder eine natürliche Zahl.
- 20 13. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Unterdrückung der Oberwellen des Ausgangssignals das Verhältnis der Teilbereiche im Rahmen einer Teilungsperiode in der Maßverkörperung zwischen dem Bereich mit niedrigerer Reluktanz und dem Bereich mit höherer Reluktanz  $(\lambda/2 - k)/(\lambda/2 + k)$  beträgt, wobei gilt:  $\lambda$  ist die Teilungsperiode und  $k$  ein Korrekturwert.
- 25 14. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Unterdrückung der Oberwellen des Ausgangssignals der Winkel  $\beta$  zwischen den Grenzen der Maßverkörperung und der Messrichtung ungleich  $90^\circ$  ist.
- 30 15. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, in der Empfängerstruktur** zumindest eine Abstandskompensationspule angeordnet ist, die ein geprägt abstandsabhängiges Signal liefert, mit dem in der Auswertelektronik die Messsignalamplituden nachgeregelt werden können.
- 35 16. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwischen und/oder außerhalb der Spulenstrukturebenen für die Abschirmung und/oder die kapazitive Entkopplung großflächige Metallschichten vorgesehen sind, die an einem festen Potential angeschlossen sind.
- 40 17. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Maßverkörperung eine zylindrische Form aufweist, die innen oder außen die periodische Teilung aufweist und daß die Spulenstruktur in einer dazu passenden Form angeordnet ist.
- 45 18. Messeinrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Maßverkörperung an der Stirnfläche eines zylindrischen Bauteiles angeordnet ist und daß die Spulenstruktur in einer dazu parallelen Stirnfläche angeordnet ist.
- 50
- 55

EP 1 164 358 A1

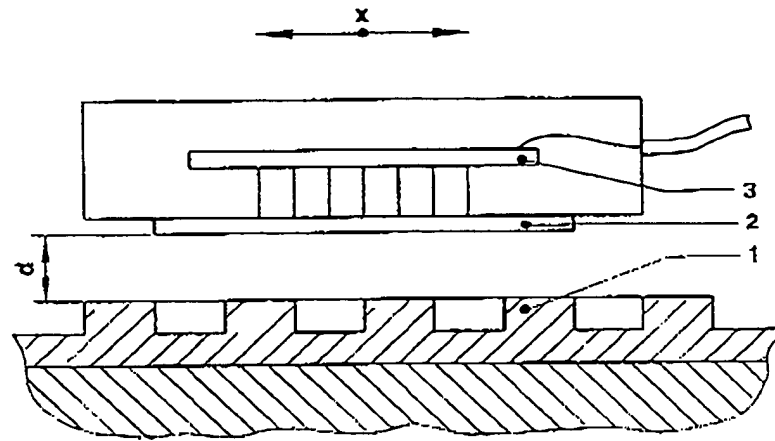


FIG. 1

EP 1 164 358 A1

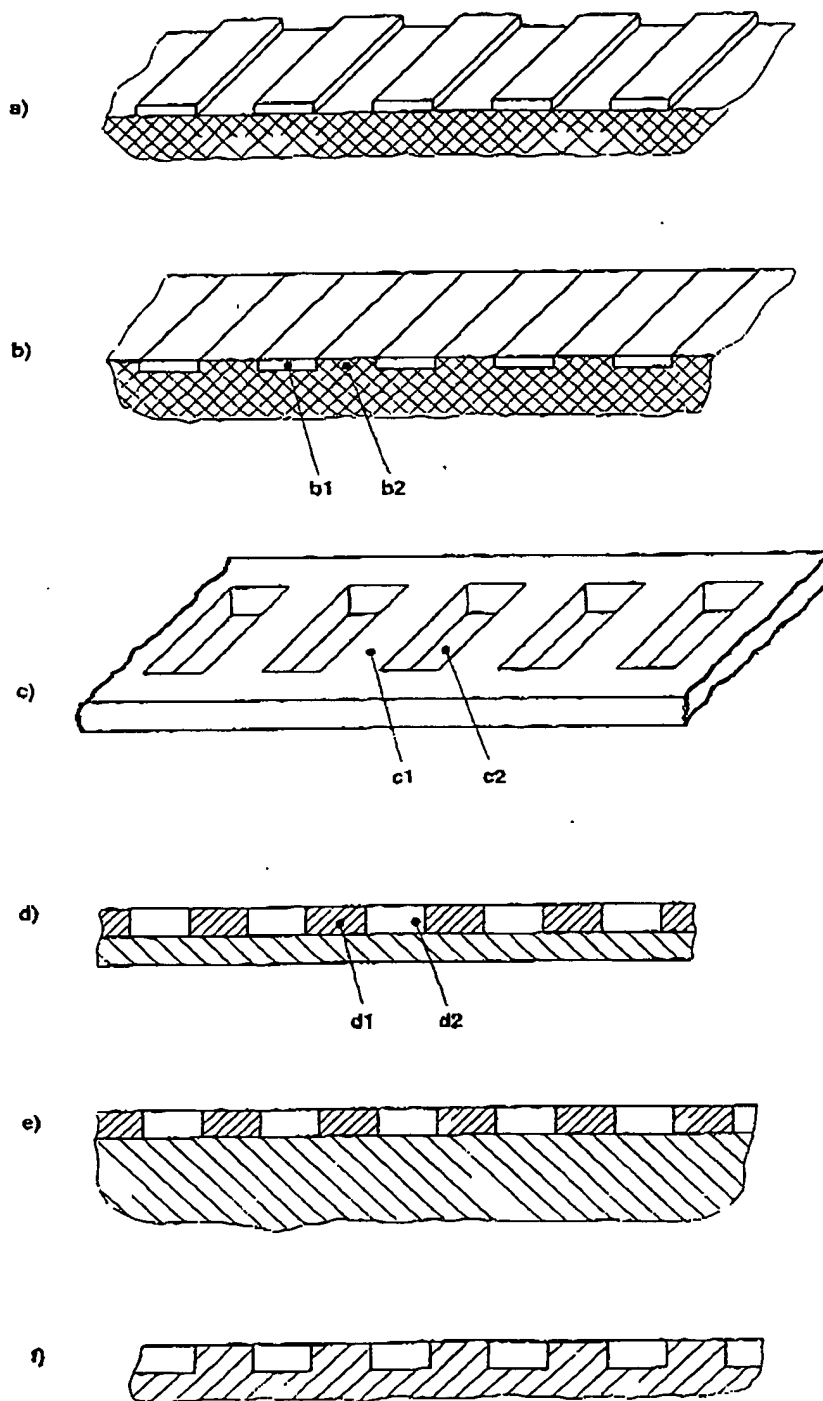


FIG. 2



EP 1 164 358 A1

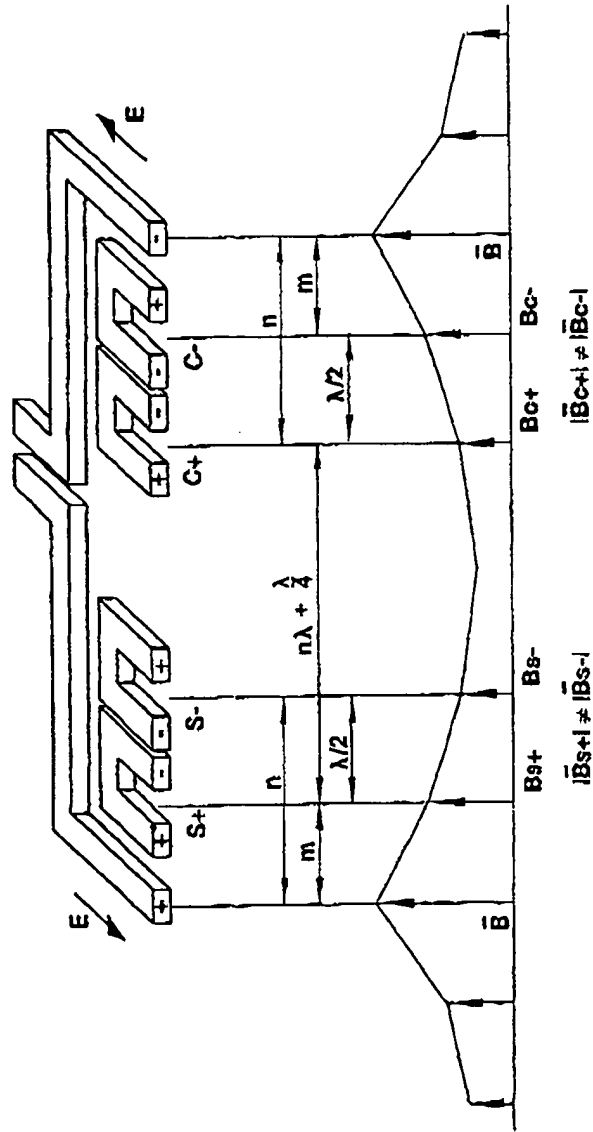


FIG. 4

EP 1 164 358 A1

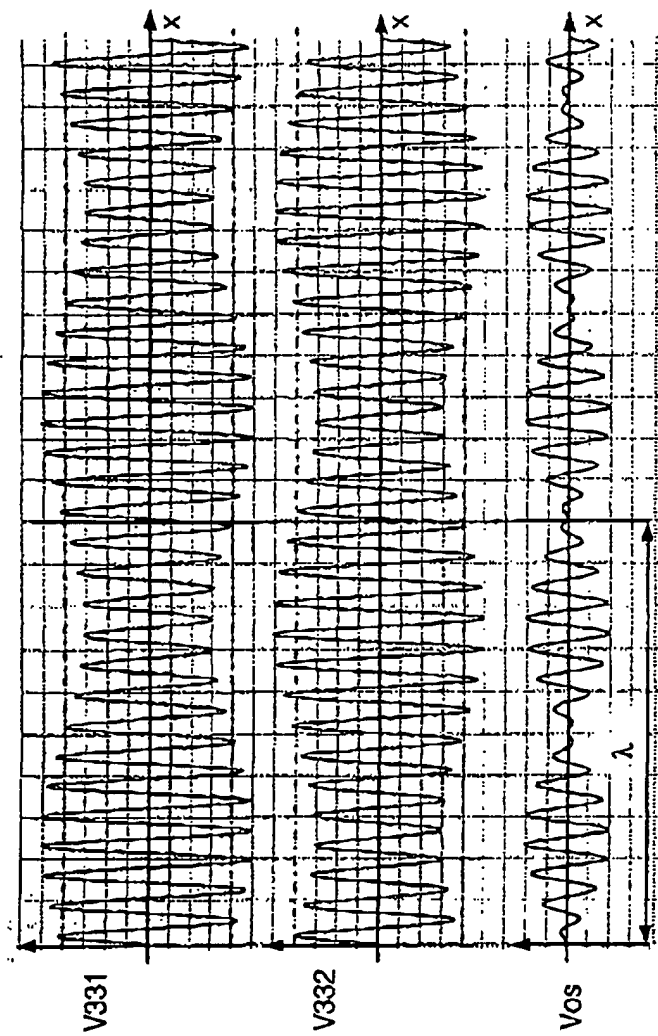


FIG. 5



EP 1 164 358 A1

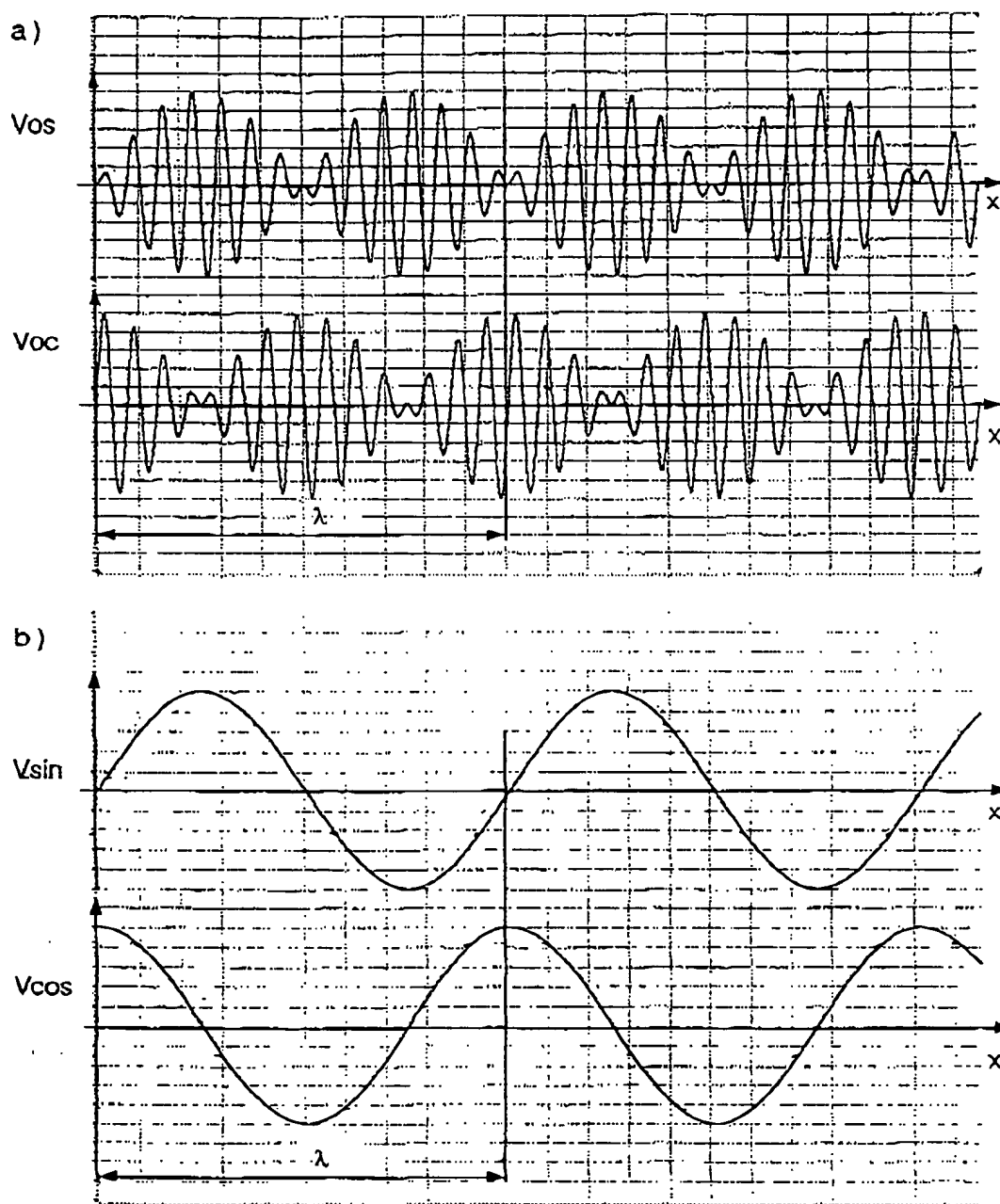


FIG. 6

EP 1 164 358 A1

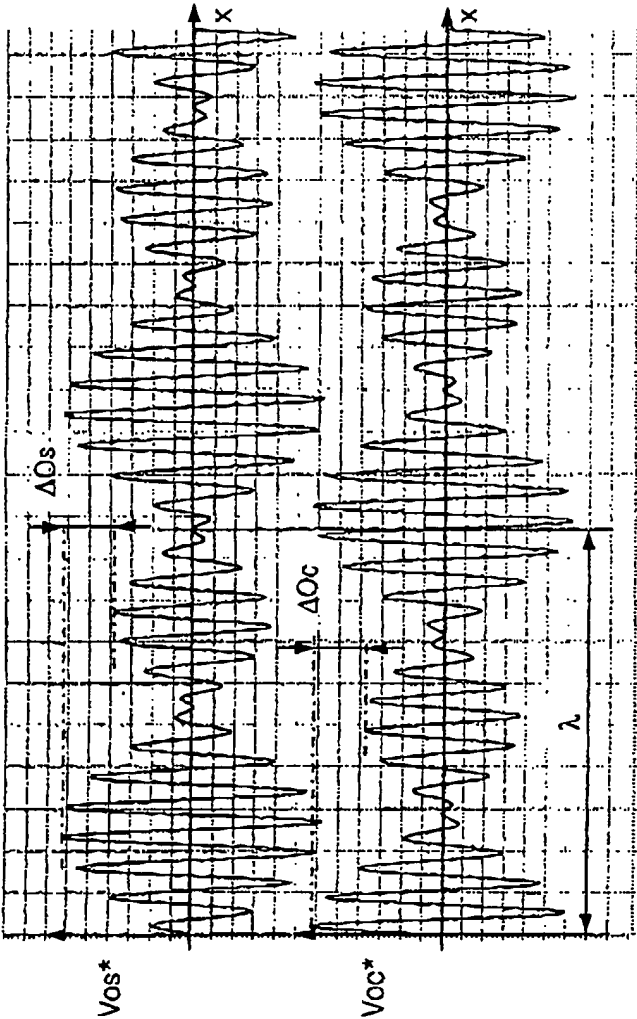


FIG. 7

EP 1 164 358 A1

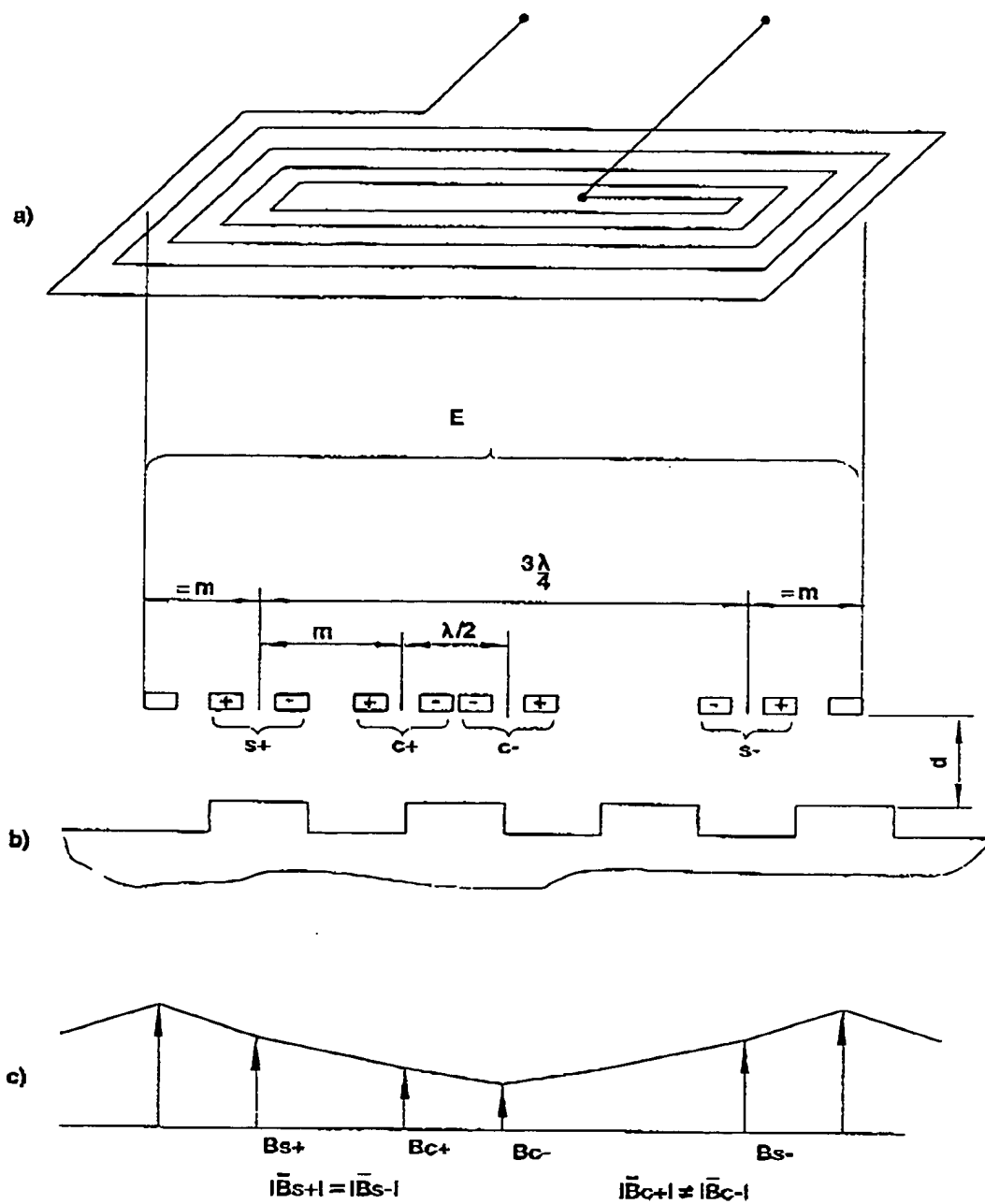


FIG. 8

EP 1 164 358 A1

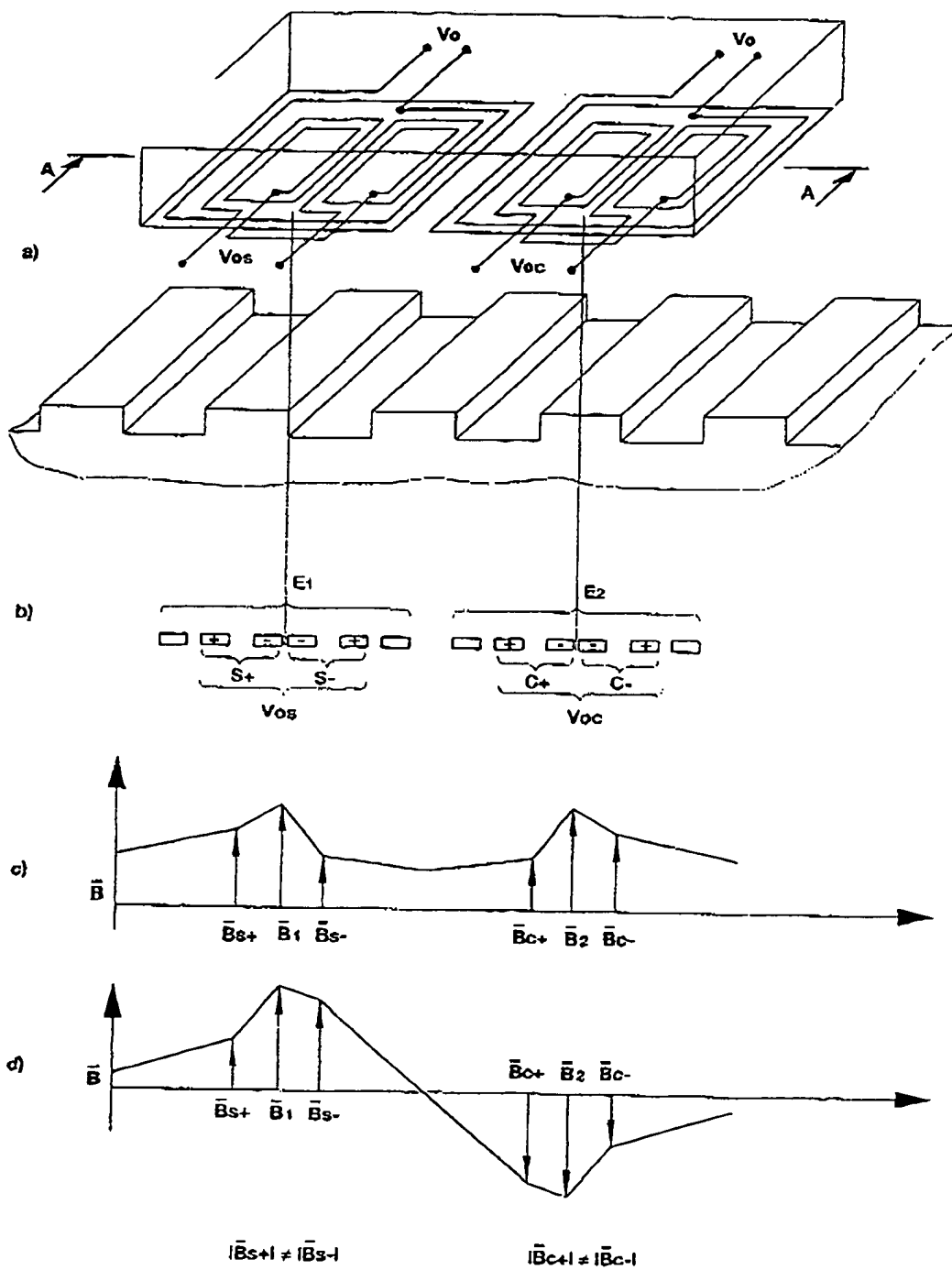


FIG. 9

EP 1 164 358 A1

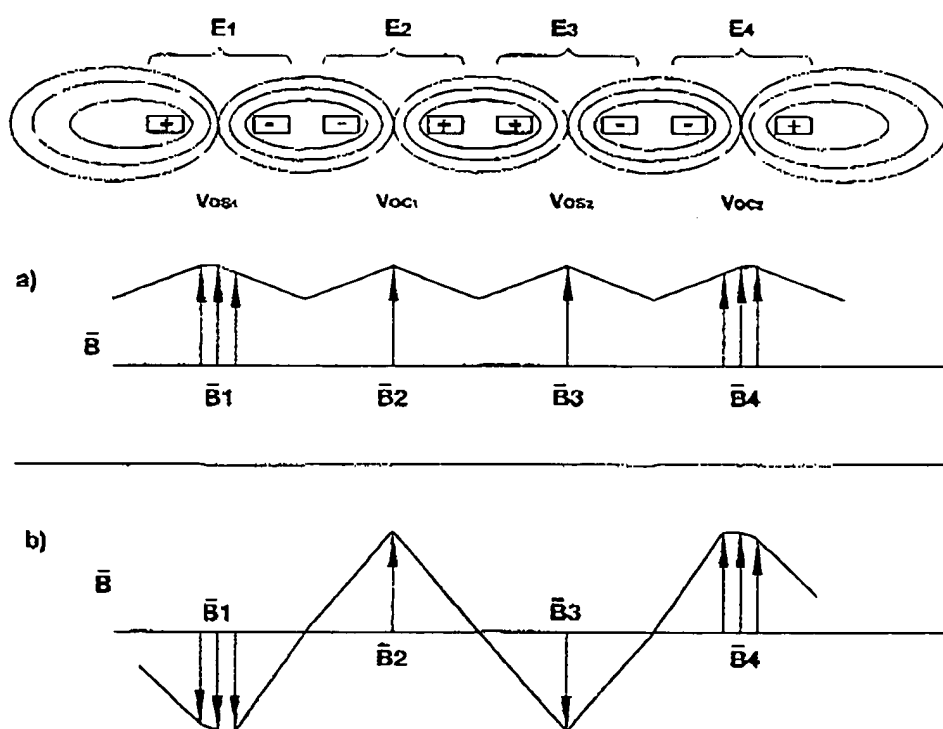


FIG.10

EP 1 164 358 A1

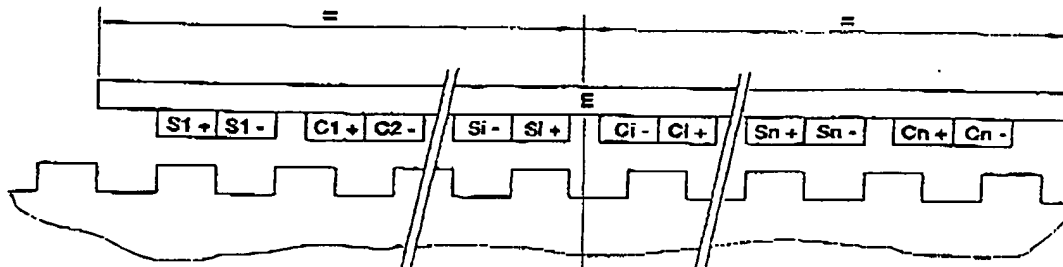


FIG. 11

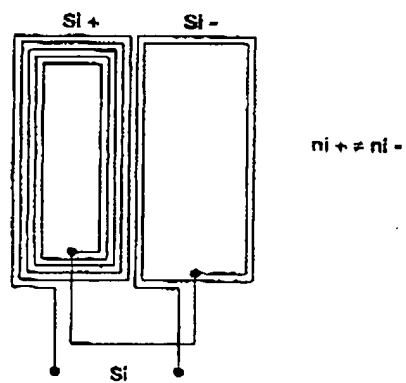


FIG. 12

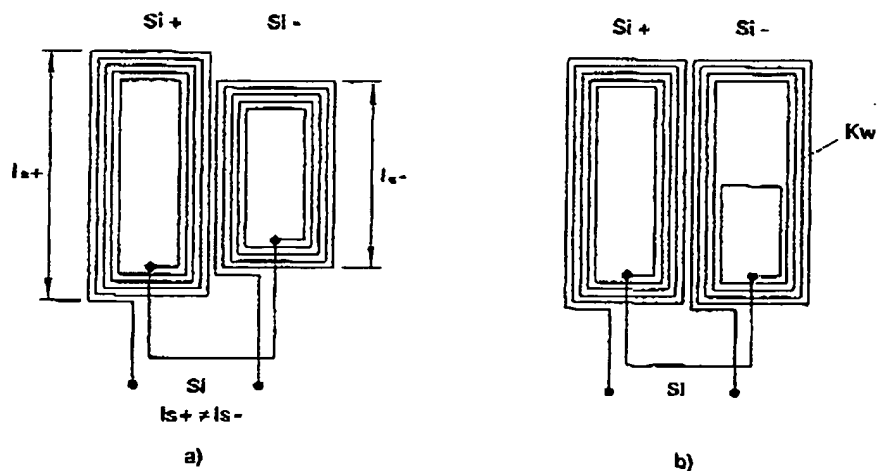


FIG. 13

EP 1 164 358 A1

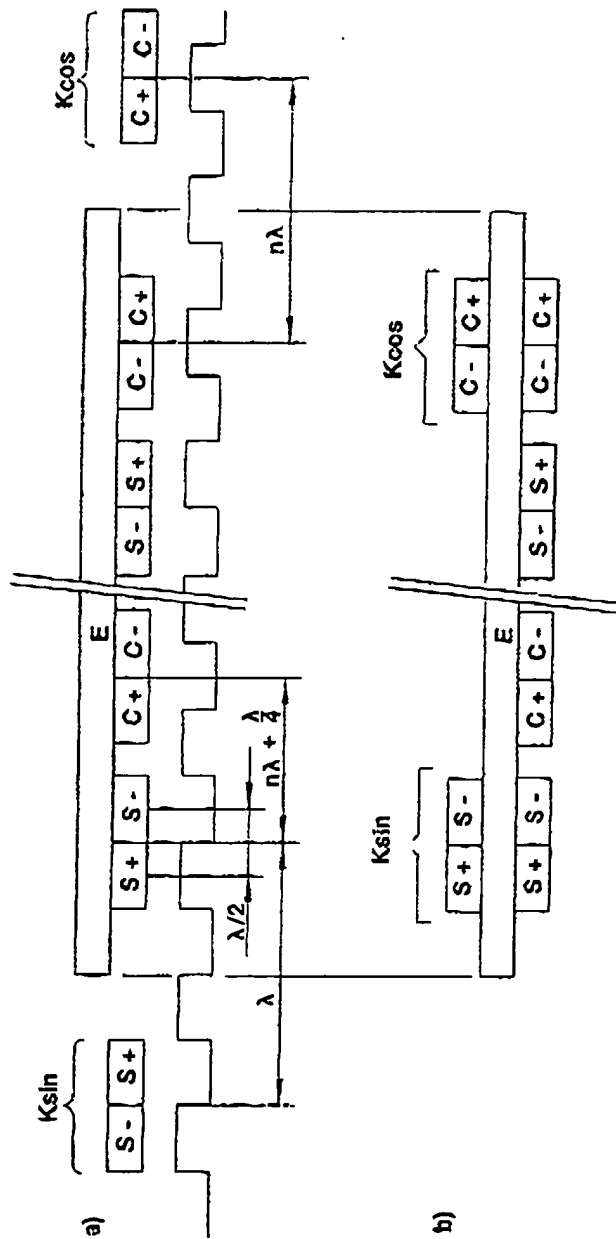
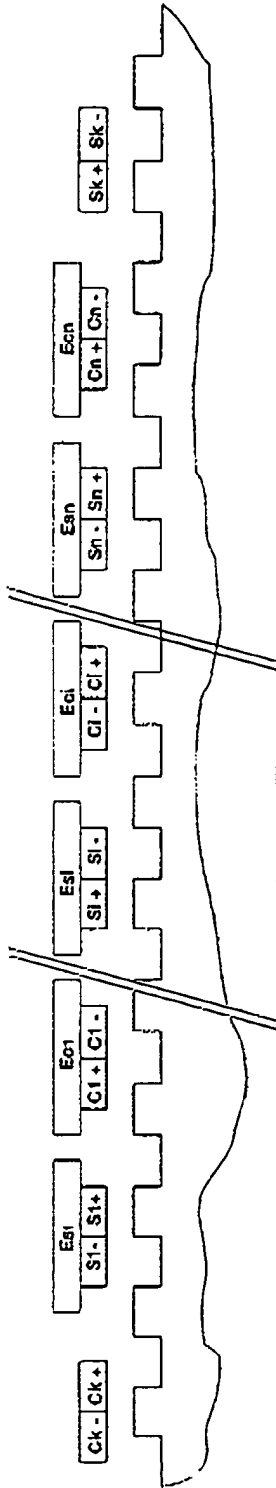
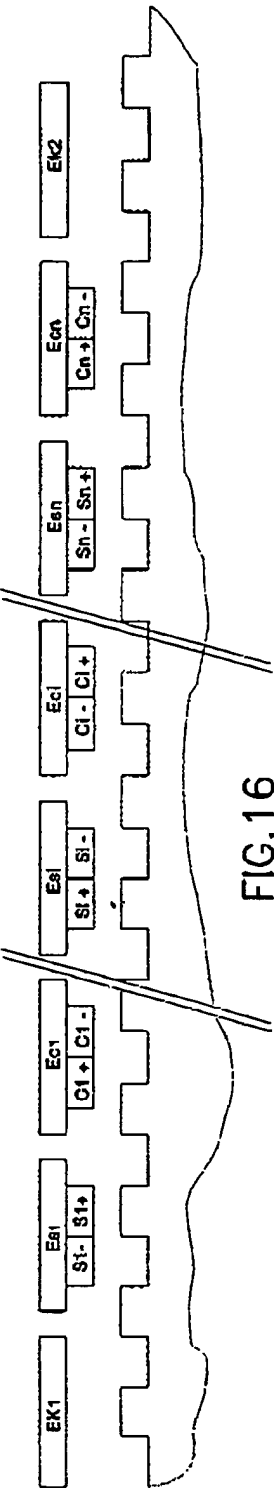
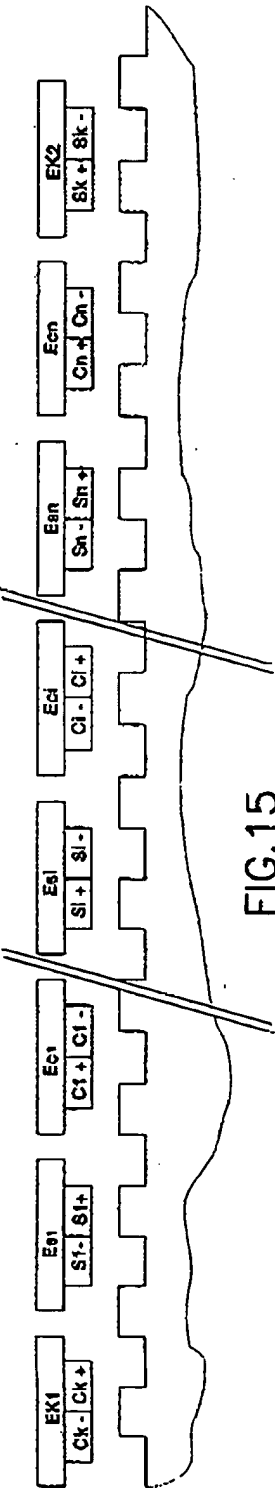


FIG. 14

EP 1 164 358 A1





EP 1 164 358 A1

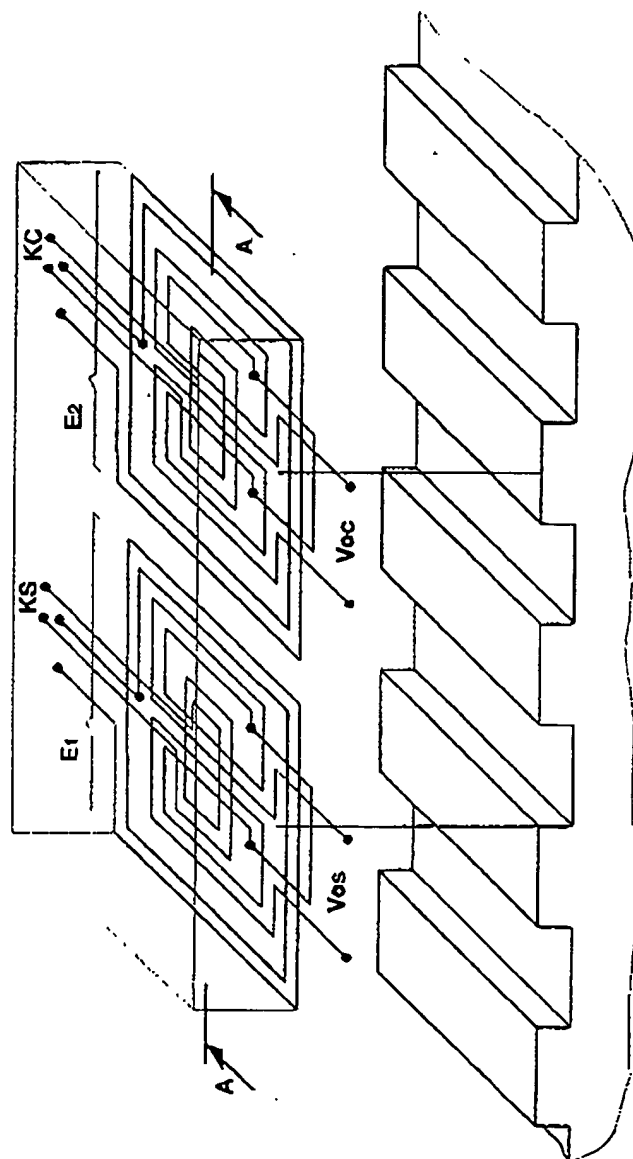
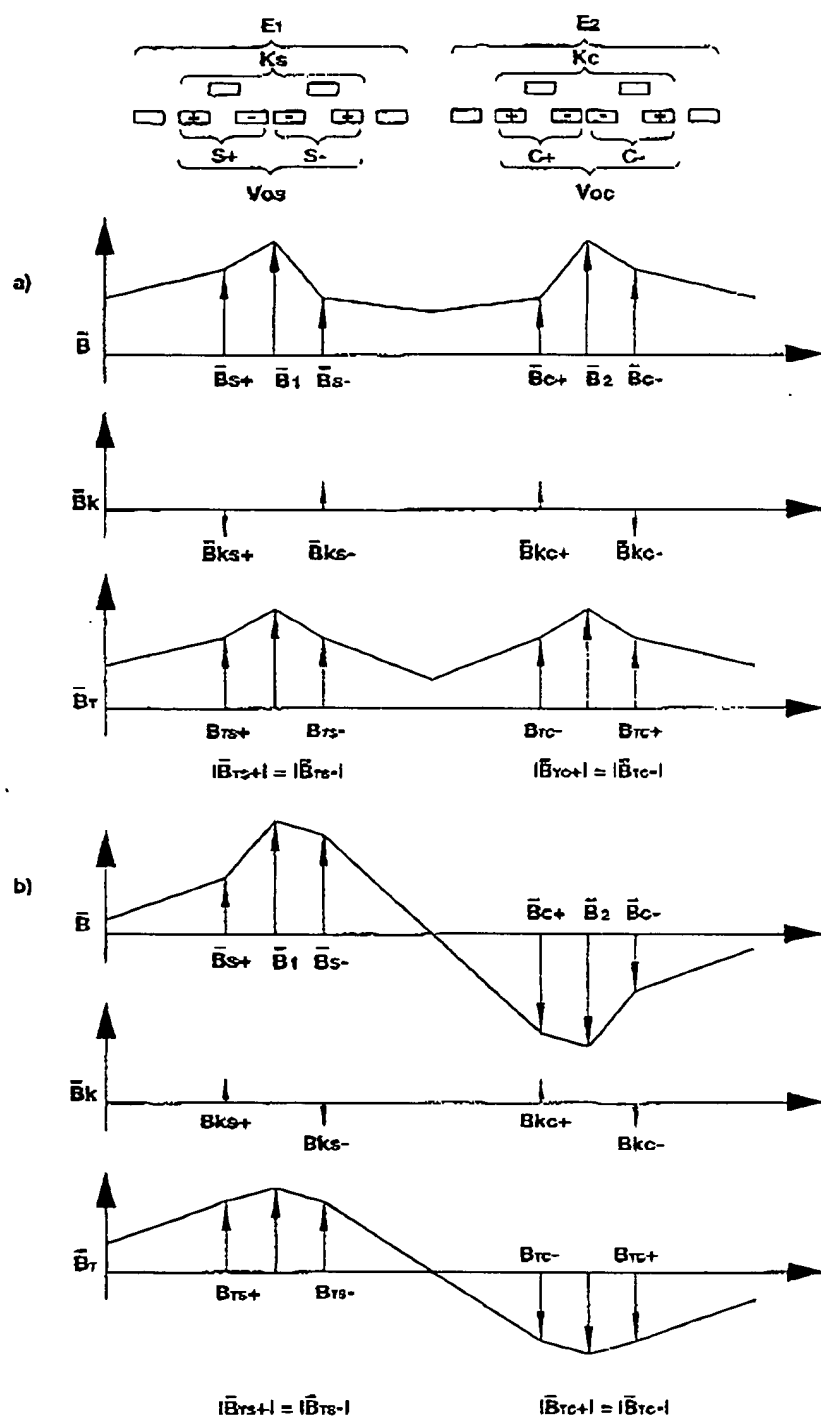


FIG.18

EP 1 164 358 A1



EP 1 164 358 A1

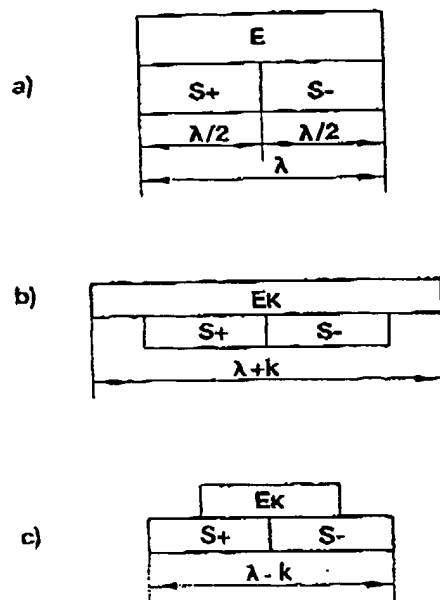


FIG.20

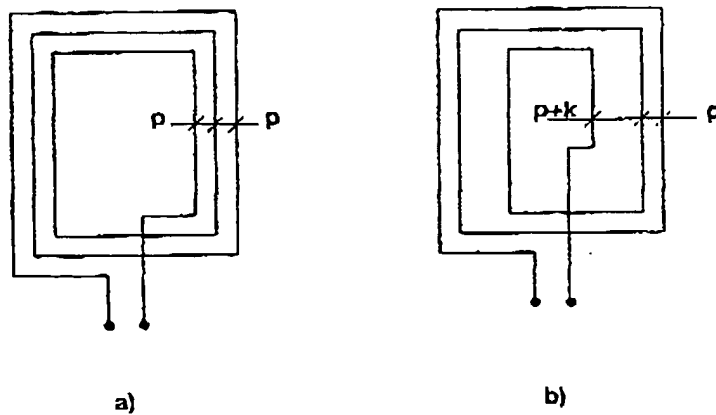


FIG.21

EP 1 164 358 A1

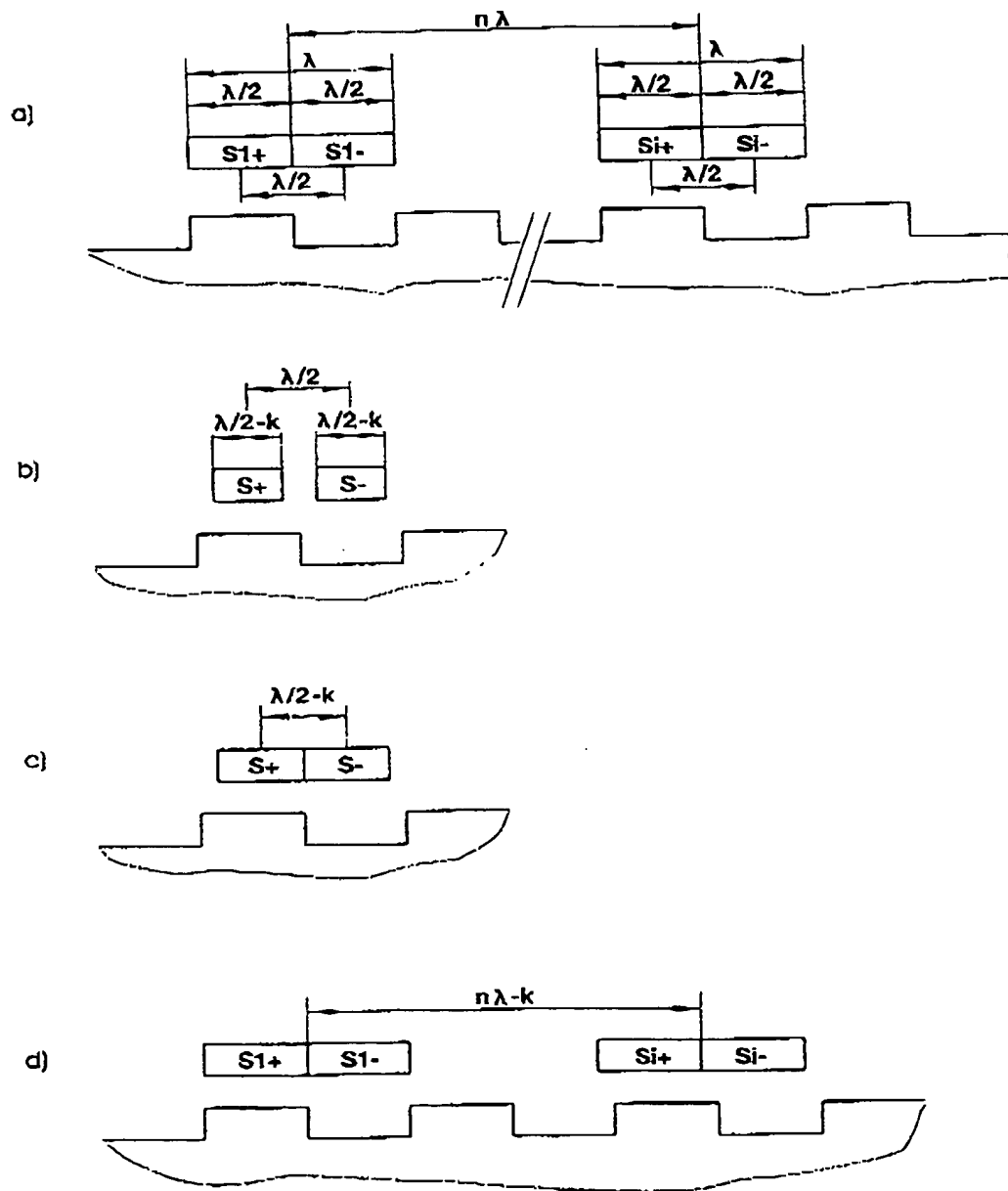


FIG. 22

EP 1 164 358 A1

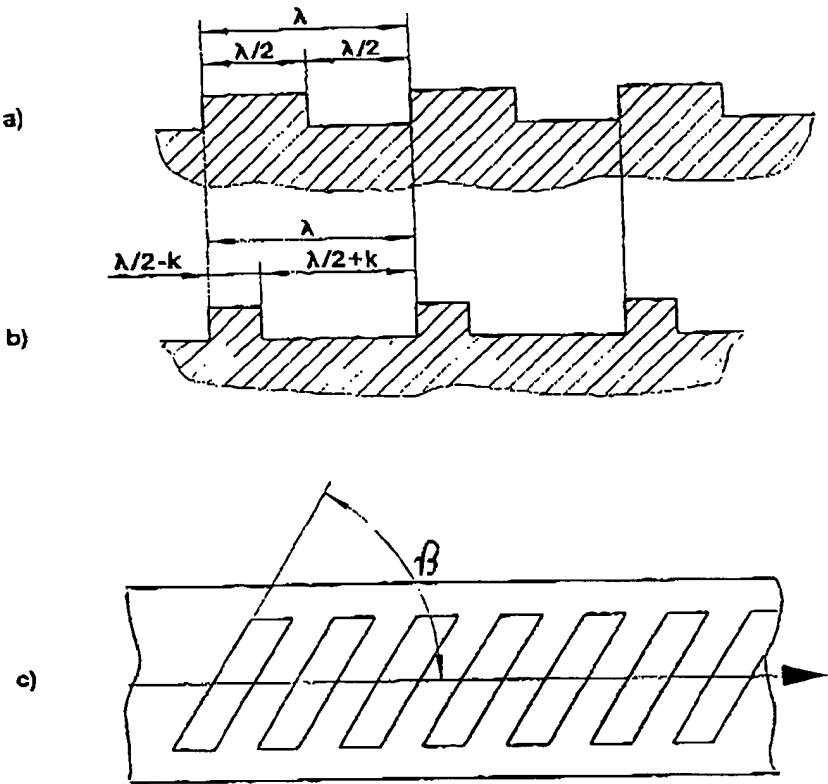


FIG. 23

EP 1 164 358 A1

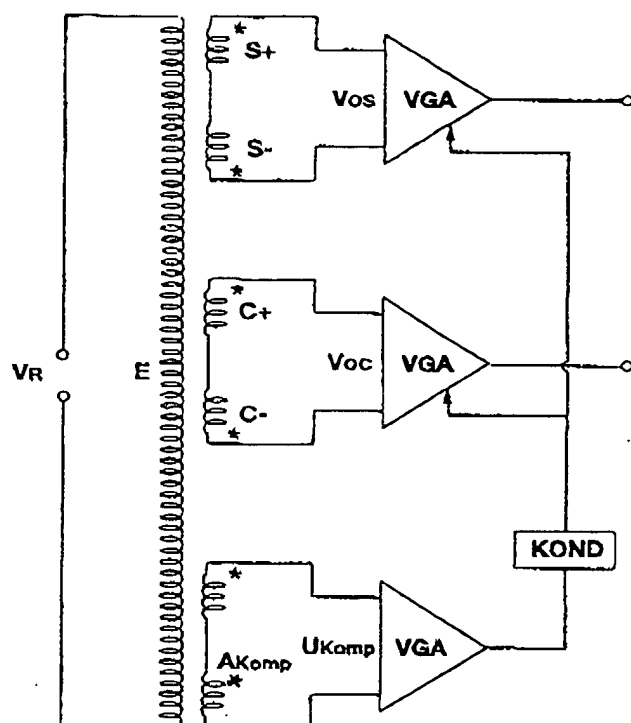


FIG. 24

EP 1 164 358 A1

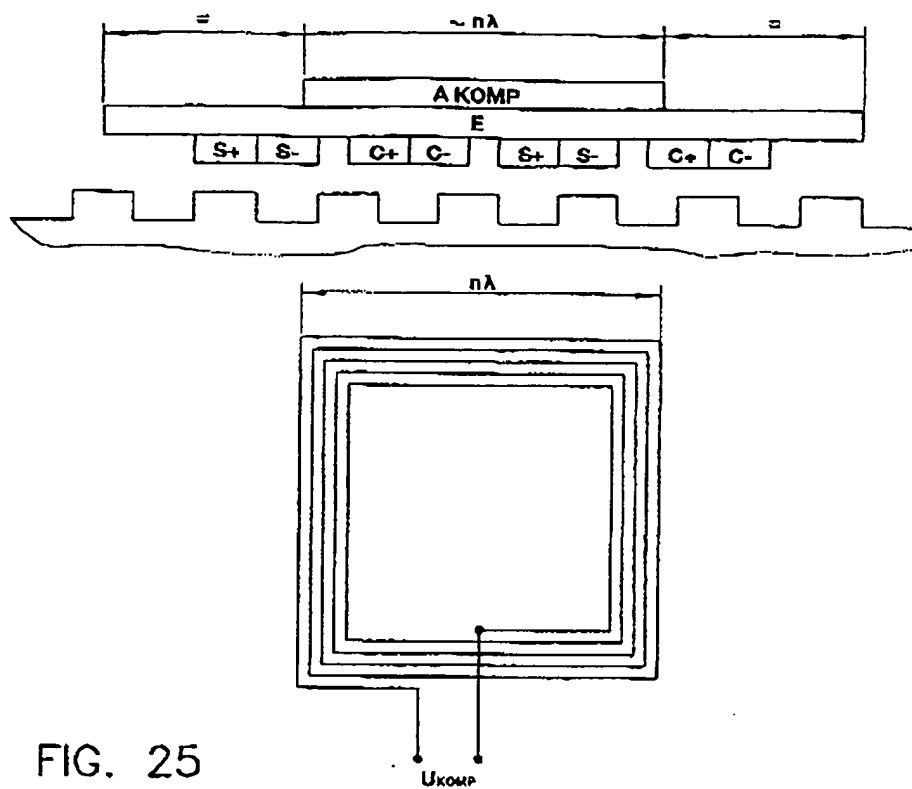


FIG. 25

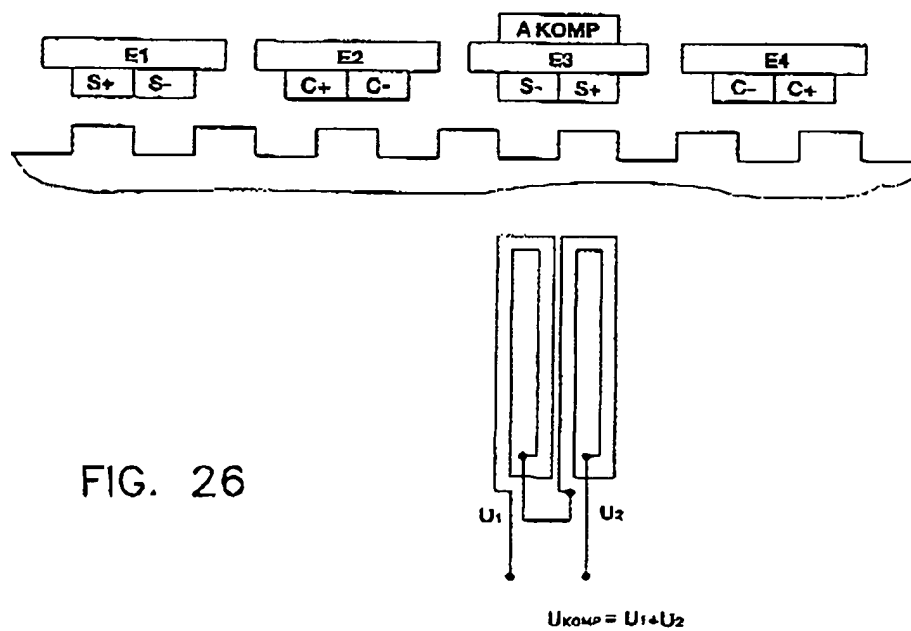


FIG. 26

EP 1 164 358 A1

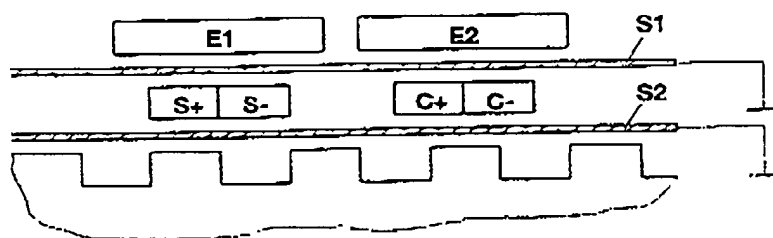
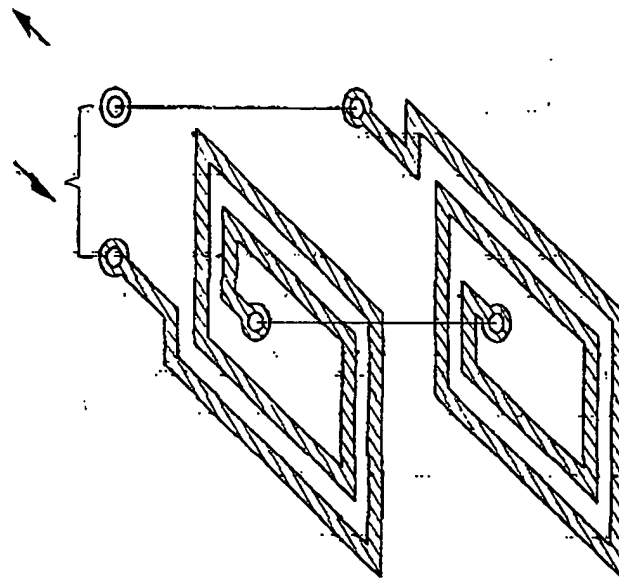


FIG. 27



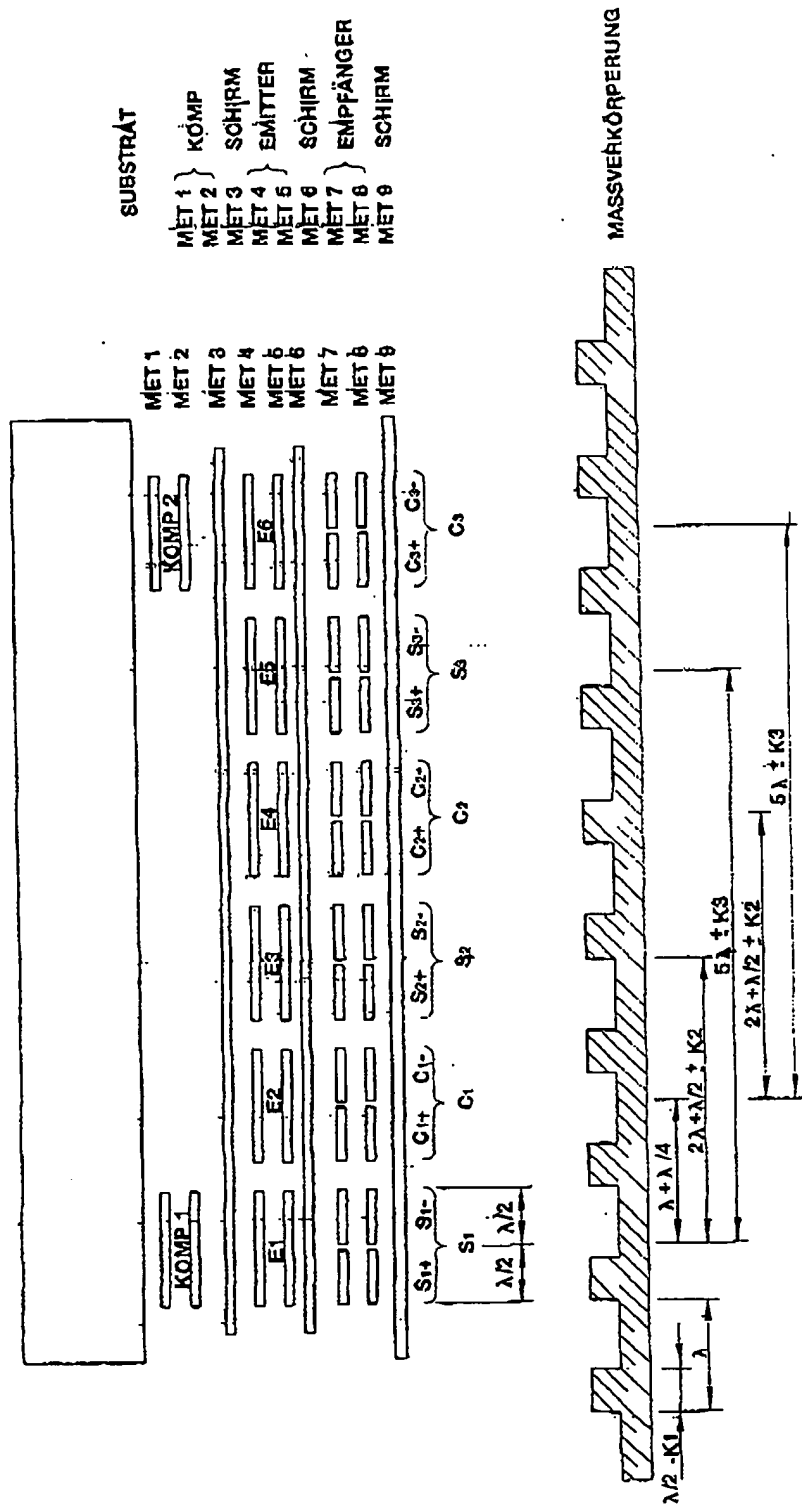
EP 1 164 358 A1



ISO | MET | ISO | MET | ISO

FIG. 28

**EP 1 164 358 A1**



EP 1 164 358 A1

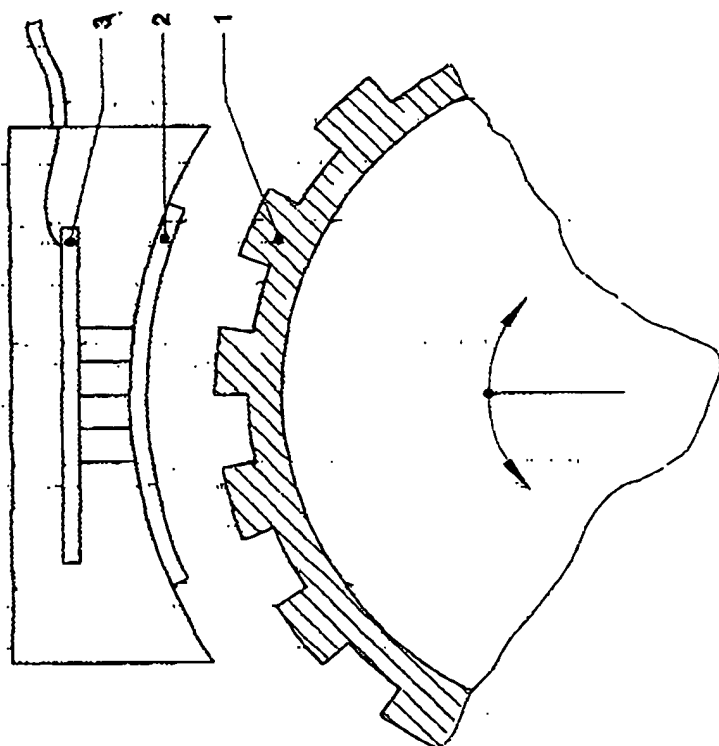


FIG. 30

EP 1 164 358 A1

Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 00 89 0192

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 4 737 698 A (MCMULLIN FRANCIS ET AL) 12. April 1988 (1988-04-12) * Spalte 16, Zeile 55 - Spalte 18, Zeile 59; Abbildungen 22-29 *	1	G01D5/20
Y	* Spalte 11, Zeile 19 - Zeile 37; Abbildungen 8,9 *	2	
A	-----	15	
Y	EP 0 743 508 A (MITUTOYO CORP) 20. November 1996 (1996-11-20) * Seite 9, Zeile 32 - Zeile 37; Abbildungen 1.6A-6D *	2	
A	DE 196 21 886 A (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES) 4. Dezember 1997 (1997-12-04) * Spalte 5, Zeile 68 - Spalte 6, Zeile 5; Abbildung 4 *	1,5-7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)  G01D
A	68 1 554 388 A (KARLEN R) 17. Oktober 1979 (1979-10-17) * das ganze Dokument *	4,15	
A	US 5 434 504 A (HOLLIS RALPH L ET AL) 18. Juli 1995 (1995-07-18) * das ganze Dokument *	5-7	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Rechenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 15. November 2000	
		Prüfer Chapple, I	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtamtliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1203 (3.92) (9-00)

EP 1 164 358 A1

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 00 89 0192

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Daten des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-11-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4737698 A	12-04-1988	IE 55855 B	30-01-1991
		CA 1276037 A	06-11-1990
		DE 3585908 A	27-05-1992
		EP 0182085 A	28-05-1986
		GB 2167563 A, B	29-05-1986
		US 4853604 A	01-08-1989
		JP 61159101 A	18-07-1986
EP 0743508 A	20-11-1996	CN 1157910 A	27-08-1997
		JP 8313295 A	29-11-1996
		US 6011389 A	04-01-2000
DE 19621886 A	04-12-1997	KEINE	
GB 1554388 A	17-10-1979	SE 401901 B	05-06-1978
		DE 2722544 A	08-12-1977
		FR 2352278 A	16-12-1977
		SE 7605723 A	21-11-1977
US 5434504 A	18-07-1995	KEINE	

EPO FORM P/421

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82